CIÊNCIA E TECNOLOGIA NO BRASIL:

A CAPACITAÇÃO BRASILEIRA PARA A PESQUISA CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA

Simon Schwartzman (coord.)
Antônio Paes de Carvalho
Antonio C. Paiva
Carlos J. P. de Lucena
Eduardo Krieger
Fábio Wanderley Reis
Fernando Galembeck
Geraldo L. Cavagnari Filho
João Lúcio Azevedo
José M. Riveros
Oswaldo Luiz Ramos
Sandoval Carneiro Jr.
Sérgio M. Rezende
Sônia M. C. Dietrich
Umberto G. Cordani
Walzi C. Sampaio da Silva

Ciência e Tecnologia no Brasil: a Capacitação Brasileira para a Pesquisa Científica e Tecnológica

Volume 3

Simon Schwartzman (coord.)
Antônio Paes de Carvalho
Antonio C. Paiva
Carlos J. P. de Lucena
Eduardo Krieger
Fábio Wanderley Reis
Fernando Galembeck
Geraldo L. Cavagnari Filho
João Lúcio Azevedo
José M. Riveros
Oswaldo Luiz Ramos
Sandoval Carneiro Jr.
Sérgio M. Rezende
Sônia M. C. Dietrich
Umberto G. Cordani
Walzi C. Sampaio da Silva

FUNDAÇÃO GETULIO VARGAS
EDITORA

ISBN 85-225-0206-4

Direitos desta edição reservados à Fundação Getulio Vargas
Praia de Botafogo, 190 — 22253-900
CP 62.591 — CEP 22252-970
Rio de Janeiro, RJ — Brasil

Documentos elaborados para o estudo de ciência política realizado pela Escola de Administração de Empresas de São Paulo, da Fundação Getulio Vargas, para o Ministério de Ciência e Tecnologia, no âmbito do Programa de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (PADCT II). As opiniões expressas nestes artigos são de exclusiva responsabilidade dos autores.

1ª edição — 1996

Coordenador do projeto: Simon Schwartzman

Edição do texto: Lucia Klein

Copidesque: Maria Isabel Penna Buarque de Almeida

Editoração eletrônica: Denilza da Silva Oliveira, Eliane da Silva Torres, Jayr Ferreira Vaz e Marilza Azevedo Barboza

Revisão: Aleidis de Beltran, Marco Antonio Corrêa e Fatima Caroni

Produção gráfica: Helio Lourenço Netto

Ciência e tecnologia no Brasil: a capacitação brasileira para a pesquisa científica e tecnológica, v. 3 / Simon Schwartzman (coord.). – Rio de Janeiro: Editora Fundação Getulio Vargas, 1996.
420p.

V.1 publicado em inglês sob o título: Science and technology in Brazil: a new policy for a global world.

1. Ciência e tecnologia — Brasil. 2. Ciência e estado — Brasil. 3. Tecnologia e estado — Brasil. I. Schwartzman, Simon, 1939- I. Fundação Getulio Vargas.

CDD – 607.281

Sumário

Apresentação *VII*

A capacitação brasileira para a pesquisa,
Eduardo M. Krieger e Fernando Galembeck *1*

Biotecnologia,
Antônio Paes de Carvalho *19*

Botânica, ecologia, genética e zoologia,
Sônia M. C. Dietrich *73*

Avaliação das ciências sociais,
Fábio Wanderley Reis *93*

Computação,
Carlos J. P. de Lucena *123*

Engenharia,
Sandoval Carneiro Jr. *149*

Física,
Sérgio M. Rezende *177*

Physiological sciences (fisiologia),
Antonio C. Paiva *215*

Geociências,
Umberto G. Cordani *239*

Inteligência artificial,
Walzi C. Sampaio da Silva *263*

Pesquisa agropecuária,
João Lúcio Azevedo *287*

Pesquisa e tecnologia militar,
Geraldo L. Cavagnari Filho *321*

Química,
José M. Riveros *359*

Saúde,
Oswaldo Luiz Ramos *389*

Engenharia

*Sandoval Carneiro Jr.**

1. Introdução

Este trabalho tem por objetivo analisar o estado atual do ensino de pós-graduação e da pesquisa em engenharia no Brasil, enfocando fundamentalmente os aspectos relativos ao desenvolvimento científico e tecnológico da área. O estudo procura identificar, de um lado, a existência de eventuais lacunas em subáreas que devam ser objeto de ações específicas por parte dos setores responsáveis, e, de outro, as subáreas em que se logrou estabelecer competências expressivas no país.

O estudo foi organizado de forma a analisar detalhadamente as chamadas grandes áreas de habilitação das engenharias, de acordo com a concepção adotada na Resolução nº 48/76 do Conselho Federal de Educação (CFE): engenharias química, elétrica, civil, mecânica, metalúrgica e de minas. Diversas outras subáreas são analisadas em menor detalhe, enquanto outras, como as engenharias de computação, agrícola e de alimentos não foram incluídas.

Inicialmente, é apresentado um breve resumo sobre a evolução e a situação do ensino de graduação em engenharia e sobre sua posição em relação às demais áreas do conhecimento no país. Segue-se um estudo sobre a pós-graduação e a pesquisa, passando-se, então, a uma análise qualitativa e quantitativa das subáreas selecionadas, baseada em documentos elaborados pelos comitês assessores do CNPq e por consultores da Capes além de outros referidos na bibliografia.

O autor gostaria de registrar a colaboração de diversos colegas que contribuíram com informações, críticas e sugestões, nas diversas fases de elaboração deste trabalho: Alberto Claudio Habert (engenharia química), Luiz Pereira Calôba e Edson Hirokazu Watanabe (engenharia elétrica), Flávio Nobre (engenharia biomédica), Paulo Alcântara Gomes e Alberto Sayão (engenharia civil), Antonio Mac-Dowell de Figueiredo e Nisio Brum (engenharia mecânica), Fernando Luiz Bastian e Luís Henrique de Almeida (engenharia metalúrgica), Ricardo Tadeu Lopes (engenharia nuclear). Fernando Espagnolo e Magda Maria Augusta, da Capes, não mediram esforços para fornecer os dados da maior parte

---

* Professor titular, Coppe e Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro.

das tabelas. As eventuais falhas e omissões são, no entanto, da exclusiva responsabilidade do autor.

2. A graduação em engenharia no Brasil

Evolução histórica

O trabalho da Corte de Portugal para o Brasil em 1808 propiciou o verdadeiro início da vida cultural e científica no país, através da criação ou transferência de diversas instituições relacionadas com a produção e transmissão do saber. Na Real Academia Militar, fundada em 1810, iniciaram-se os primeiros cursos destinados à formação de artilheiros, engenheiros, geógrafos e topógrafos (Carvalho, 1972:137-47). O ensino de engenharia no Brasil remonta, portanto, a 1810 e sua evolução foi bastante lenta e gradual. Em 1874, foi fundada a Escola Politécnica do Rio de Janeiro, posteriormente incorporada à Universidade do Brasil e, atualmente, Escola de Engenharia da UFRJ.

A Escola de Minas de Ouro Preto foi fundada em 1875 e, junto com a Escola Politécnica do Rio de Janeiro, estimulou o desenvolvimento de pesquisas geológicas e mineralógicas de qualidade, além da formação de geólogos e engenheiros civis com sólida base técnica e científica. A este esforço viria juntar-se a Escola Politécnica de São Paulo, criada em 1894. De acordo com Carvalho (1972:137-47), durante a Monarquia e início da República, o ensino das ciências exatas e naturais tinha lugar na Escola Militar, na Escola Naval e nas escolas de engenharia e de minas e, ainda, nas de medicina. No período republicano, foram implantados diversos laboratórios de serviço no campo da metrologia, astronomia, geologia e mineralogia, além de institutos de pesquisa abrangendo diversos setores do conhecimento como o estudo das moléstias tropicais e epidêmicas, a biologia, a biofísica, a zoologia, a agronomia etc. Muitas dessas instituições foram criadas graças ao esforço e abnegação de algumas pessoas, e várias foram mantidas devido ao idealismo e perserverança de professores e dirigentes. É o caso, por exemplo, da Escola Superior de Agricultura e Veterinária de Viçosa (fundada em 1927), que, na década de 40, já enviava jovens professores para fazer mestrado e doutorado no exterior.

Somente em 1934 é que foi criada a Universidade de São Paulo, a primeira do Brasil, seguida, em 1937, da Universidade do Brasil, hoje Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Vários outros centros universitários foram sendo criados nos demais estados da federação, freqüentemente através da reunião de escolas superiores isoladas, gerando problemas que perduram até hoje (Kelly, 1972:151-67).

Nas últimas décadas, merece destaque a criação de duas instituições de ensino superior: o Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), em 1950, e a Universidade de Campinas (Unicamp), em 1967. Ambas contribuíram de

forma significativa para a melhoria do ensino de graduação e para a implantação da pós-graduação em engenharia, além de criarem condições para o desenvolvimento de indústrias locais com tecnologia de ponta e de institutos de pesquisas tecnológicas.

A formação de engenheiros

De acordo com Danna et alii (1991), havia no Brasil, em 1991, cerca de 300 mil engenheiros em atividade, para uma população economicamente ativa (PEA) de cerca de 60 milhões de pessoas, em uma proporção de cinco engenheiros para cada 1 mil pessoas da PEA. O Japão e os Estados Unidos, com 25 engenheiros para cada 1 mil trabalhadores, a Inglaterra, com 23 e a Alemanha, com 22, têm um índice mais de *quatro* vezes superior ao do Brasil.

Uma comparação com as demais áreas do conhecimento sugere que este é um quadro difícil de ser alterado. Dados de 1988 do MEC, que compõem a tabela 1, indicam que apenas 9,7% de todos os alunos de graduação estavam matriculados em cursos de engenharia ou tecnologia, comparados a, por exemplo, mais de 38% nas áreas de ciências sociais aplicadas, o que dá uma relação de *um* engenheiro para quase *quatro* cientistas sociais. Nos Estados Unidos, ao contrário, formaram-se, em 1988, 70.406 engenheiros e 69.861 cientistas sociais, configurando uma relação de praticamente *um* para *um*. Quase *metade* dos engenheiros formados no país opta pela habilitação em engenharia civil, o que se reflete na distribuição dos engenheiros ativos (tabela 2). Enquanto nos Estados Unidos apenas 14,2% dos engenheiros são civis, no Brasil, cerca de 45,5% do total de engenheiros ativos são civis, muitos dos quais trabalham em empresas de setores industriais como eletroeletrônica, mecânica e química (Iida & Rocha Neto, 1990), do que se deduz que, freqüentemente, desempenham funções que extrapolam a sua formação profissional.

Tabela 1
Número de alunos matriculados em cursos de graduação no Brasil, por grandes áreas de conhecimento

Grandes áreas	Alunado de graduação	%
Ciências sociais aplicadas	578.067	38,5
Ciências humanas, letras e artes	410.173	27,3
Ciências da saúde	172.038	11,4
Ciências básicas	155.783	10,3
Engenharia/tecnologia	*145.914*	*9,7*
Ciências agrárias	41.585	2,8
Soma	1.503.560	100,0

Portanto, além do baixo número de profissionais, a engenharia no Brasil padece de uma séria distorção entre as diferentes subáreas, com predominância clara da engenharia civil.

Tabela 2
Distribuição dos engenheiros nos EUA e no Brasil

Áreas/engenheiros	EUA		Brasil	
	Quantidade	%	Quantidade	%
Civil	319.100	14,2	134.058	45,4
Elétrica/eletrônica	540.800	24,0	40.731	13,8
Mecânica	453.700	20,3	42.414	14,4
Química	131.500	5,9	5.476	1,8
Aeronáutica	104.200	4,6	1.307	0,4
Outros	694.200	31,0	71.509	24,2
Soma	2.243.500	100,0	295.495	100,0

Fontes: NSF, Science & engineering indicators, 1987 e MEC/Sesu, 1986.

As áreas de graduação em engenharia são regulamentadas pela Resolução nº 48/76 do CFE, que introduziu um currículo mínimo para cada uma das seis grandes áreas de habilitação: civil, elétrica, mecânica, química, minas e metalurgia. Embora esta estrutura admita alguma flexibilidade através das habilitações com ênfases específicas, e ainda através de algumas habilitações especializadas, derivadas das áreas básicas (por exemplo, engenharia naval, originária da engenharia mecânica), não há dúvida de que a Resolução nº 48/76 se tornou inadequada e precisa ser substituída por um instrumento mais flexível, de maneira que a formação de engenheiros se articule melhor com o processo de evolução tecnológica e com as exigências do mercado de trabalho (Iida & Rocha Neto, 1990).

Em março de 1993, o secretário nacional de Ensino Superior reativou a Comissão de Especialistas do Ensino de Engenharia, que se dedicou à revisão da Resolução nº 48/76 e ao planejamento de metodologias de avaliação dos cursos de graduação em engenharia. Além disso, a implantação da autonomia universitária deverá conduzir a maiores flexibilidade e agilidade das escolas de engenharia na modernização de suas estruturas curriculares.

3. A pós-graduação em engenharia no Brasil

Evolução histórica

O primeiro curso formal de pós-graduação *stricto sensu* na área das engenharias foi criado em 1961 no Instituto Tecnológico da Aeronáutica (ITA), que organizou um mestrado em sistemas de controle, nos moldes das universidades americanas. A participação expressiva de professores em regime de tempo integral envolvidos com pesquisas tecnológicas e a interação com o Centro Técnico Aeroespacial (CTA) contribuíram para atrair alunos de todo o país para a graduação. Muitos desses alunos tiveram sua vocação para a pesquisa e ensino despertada no ITA, prosseguiram com seus estudos de pós-graduação no exterior ou no país, vindo, mais tarde, a participar da criação de vários centros de pós-graduação, notadamente na UFRJ, UFPb e Unicamp.

Em 1963, foi implantado o mestrado em engenharia química no Instituto de Química da UFRJ, ministrado em conjunto por professores brasileiros e da Universidade do Texas, com o apoio da Fundação Rockfeller e da Comissão Fullbright. O curso despertou grande interesse, o que levou à criação de novos programas de pós-graduação, em especial da Coordenação dos Programas de Pós-Graduação em Engenharia (Coppe), em 1965.

Ainda em 1965, foi criado o Fundo de Tecnologia do BNDE (Funtec), cujo primeiro financiamento foi concedido à Coppe. Graças ao apoio contínuo do Funtec e, posteriormente, da Finep, e ao interesse na pós-graduação, a Coppe expandiu-se rapidamente e, em 1970, já contava com 10 programas de pós-graduação, 88 docentes e mais de 600 alunos. Análises da evolução da Coppe (Carneiro Jr. & Bartholo, 1984; Carneiro Jr., 1990) mostram a importância desta instituição como centro formador de jovens professores para universidades brasileiras e da América Latina. Mostram, ainda, a interação da Coppe com o setor produtivo, sobretudo através dos centros de pesquisa de empresas estatais.

A pós-graduação em engenharia no contexto das áreas de conhecimento

A implantação dos cursos de pós-graduação nas engenharias ocorreu de forma bastante distinta da evolução dos cursos de graduação.

Muitos foram os condicionantes que levaram ao rápido crescimento da pós-graduação: a criação de incentivos para a dedicação integral ao ensino e à pesquisa; o acesso a financiamentos externos e, posteriormente, internos; o aumento da população estudantil, com a conseqüente necessidade de formação de docentes; a adoção de políticas de governo direcionadas para o desenvolvimento científico e tecnológico; pesados investimentos na modernização

de setores básicos para a industrialização, como energia elétrica, telecomunicações etc.

A preocupação com a velocidade de criação de novos cursos deu origem à implantação do processo de avaliação da Capes, bastante criticado em diversos segmentos da comunidade universitária à época de sua criação. No que concerne à posição recente das engenharias perante as demais áreas do conhecimento, os dados revelam que elas respondem por 17,4 e 16,3% do total de alunos de mestrado e doutorado, respectivamente (tabela 3), percentual bem mais expressivo do que o da graduação (tabela 1), inferior a 10%. Nos Estados Unidos, contudo, as engenharias concentram 35,8% dos titulados com mestrado (1988) e 21% (1989) dos com doutorado, quase o dobro da participação das engenharias no Brasil: 18,2% dos titulados com mestrado e 12,1% dos com doutorado.

Tabela 3
Pós-graduação — alunado por área e nível — 1991

Área	Titulados		Total alunos	
	Mestrado	Doutorado	Mestrado	Doutorado
Ciências exatas e da terra	1.001	255	4.302	2.048
Ciências biológicas	622	215	2.708	1.594
Engenharias	*1.176*	*173*	*6.290*	*1.912*
Ciências da saúde	795	300	4.973	1.869
Ciências agrárias	677	96	3.492	825
Ciências sociais aplicadas	700	117	4.844	1.251
Ciências humanas	1.154	200	7.105	1.981
Lingüística, letras e artes	332	79	2.512	267
Total geral	6.457	1.435	36.226	11.747

Fonte: Capes/DAV/DED.

Quanto ao corpo docente (tabela 4), as engenharias contam com 2.883 docentes de um total de 28.943, ou seja, pouco menos de 10%, o que implica uma relação aluno/professor maior do que a média das demais áreas do conhecimento.

Tabela 4
Corpo docente na pós-graduação em 1991

Área	Total docentes	Total doutorado	Docente permanente	Docente permanente c/ doutorado	Docente permanente orientador	Docente permanente em treinamento
Artes	246	158	200	133	94	29
Ciências biológicas	1.793	1.581	1.178	1.052	622	109
Ciências fisiológicas	1.655	1.475	1.194	1.925	634	151
Ciências exatas e da terra	4.082	3.579	2.884	2.619	1.712	402
Ciências humanas	4.431	3.664	3.226	2.749	2.223	321
Engenharias	*2.883*	*2.174*	*2.128*	*1.635*	*1.290*	*355*
Ciências agrárias	4.341	3.242	2.850	2.159	1.450	313
Ciências saúde	6.765	5.214	4.287	3.375	2.045	307
Ciências sociais aplicadas	2.747	1.901	1.889	1.321	1.050	257
Total	28.943	22.988	19.746	16.068	11.120	2.244

Fonte: Capes/DAV/DED.

No que diz respeito à produção científica, é necessário cautela ao comparar-se as áreas de conhecimento, não só pelos diferentes estágios de desenvolvimento em que se encontram no Brasil, como (e principalmente) pelas especificidades próprias a cada área. Comparando-se, por exemplo, o acesso a veículos consolidados de divulgação científica no país, a quantidade de trabalhos publicados em revistas nacionais nas áreas de ciências da saúde (3.122), agrárias (1.901) e sociais aplicadas (1.021) indica a presença de diversas sociedades científicas, consolidadas há algum tempo; nas engenharias, as poucas sociedades atuantes são mais recentes e vêm dando maior ênfase à organização de congressos no país (1.722 trabalhos) do que à edição de revistas.

Outro aspecto importante está relacionado com as formas de transferência dos resultados da produção intelectual à sociedade. Nas engenharias, a transferência para o setor produtivo, do conhecimento gerado através de estudos tecnológicos, ainda que sem a geração de patentes, é da maior importância, mas não é considerada nas avaliações das agências de fomento. Seria possível obter uma indicação do volume dessas atividades através do valor dos contratos de consultoria e convênios (Carneiro Jr., 1990), mas poucas instituições têm condições de fornecer os dados necessários.

Entre os indicadores de produção científica aqui utilizados, a produção de teses talvez seja menos sujeita aos condicionamentos já citados, o que é corrobo-

rado pela participação relativa das engenharias nas teses: 17,07% do total de mestrado e doutorado, equiparável a 17,04% do total de alunos (tabela 3). Comparada com outras áreas, as relações tese/docente-orientador e tese/total de alunos nas engenharias são, respectivamente, 0,92 e 0,19, considerando o mestrado apenas, enquanto são de 0,63 e 0,20 nas ciências humanas, e de 0,57 e 0,23, nas ciências exatas e da terra. Assim, embora cerca de 20% dos alunos de mestrado nessas três áreas tivessem apresentado tese ou dissertação em 1991, a relação tese/docente-orientador variou bastante, revelando-se nitidamente mais favorável nas engenharias. Agregando-se todos os indicadores de produção científica — excetuando-se aqueles relativos às teses — e relacionando-os com o número de docentes-orientadores, obtém-se um indicador produção total/docente-orientador de 2,42 para as engenharias, de 1,69 para as ciências humanas e de 2,12 para as ciências exatas e da terra. Ambos os indicadores refletem a maior produtividade das engenharias quando comparada com as ciências humanas e exatas e da terra.

Algumas conclusões podem ser tiradas a partir das análises desta seção:

- a pós-graduação em engenharia tem uma posição destacada em relação às demais áreas do conhecimento em contraste com a graduação, onde a posição das engenharias é bem menos favorável;

- as relações aluno/professor, tese/docente-orientador e produção total/docente-orientador refletem a maior eficiência das engenharias quando comparadas com duas áreas do conhecimento, uma mais próxima (ciências exatas), e outra mais distante (ciências humanas).

A pós-graduação em engenharia no Brasil no contexto das suas diversas subáreas

Na pós-graduação, o quadro é bastante diferente do da graduação, onde foi constatada a forte concentração de alunos na engenharia civil. A engenharia elétrica surge como a opção mais freqüente, com 25,4% do total, seguida das engenharias mecânica (16%) e de produção (14,9%). A engenharia civil aparece em quarto lugar, com 12,6%, equivalente a cerca da metade do alunado da engenharia elétrica.

4. Engenharia química

Situação geral da subárea no país

Segundo dados da Capes, no biênio 1990/91 existiam apenas nove cursos de pós-graduação, dos quais somente cinco ofereciam doutorado. A maioria dos cursos tinha um corpo docente consolidado, exceto na UFRN e na UFPb onde, apesar de terem sido implantados em 1988, docentes não-doutores ainda estavam matriculados na pós-graduação. Em 1991, formaram-se apenas 89 mestres e 12 doutores, número muito aquém das necessidades do país.

A produção científica é também modesta, sobretudo no que se refere a publicações em revistas internacionais. Com um índice de 0,20 de trabalho por docente-doutor (correspondente a 22 artigos publicados em revistas internacionais) e um índice de produção total/docente de 1,62 em 1991, a engenharia química se situa bem abaixo da média de 2,42 para as engenharias. A assimetria entre os diversos grupos é muito grande. No extremo superior, está a UFRJ/Coppe, com produção/total em 1991 superior a 3,13 e, no extremo inferior, a UFRN, com um índice próximo a 0. Em 1991, a subárea registrou apenas três pedidos de patentes ou protótipos, o que é muito pouco tendo em vista o caráter experimental de boa parte das linhas de pesquisa.

A tabela 5 apresenta a distribuição dos pesquisadores que recebiam bolsas de pesquisa do CNPq em maio de 1992. Embora o sistema de bolsas de pesquisa do CNPq não atinja todo o universo de pesquisadores, dos 111 docentes doutores da subárea, 48 estavam no sistema em maio de 1992, a maior parte classificada na categoria II, nível C, indicando uma quantidade expressiva de recém-doutores ingressando numa "carreira de pesquisa" bastante disputada e sujeita a avaliação pelos pares.

Tabela 5
Bolsista de pesquisa do CNPq: engenharia química
(maio 1992)

Nível	Categoria I	Categoria II
A	6	3
B	6	7
C	5	21
Total	17	31

Atuação em pesquisa nas universidades

Segundo Perlingeiro (Seplan/CNPq, 1983) as atividades de pesquisa desenvolvidas nas universidades abrangiam, já em 1982, praticamente todo o espectro da engenharia química.

Atualmente, os campos de atuação das diversas instituições estão assim distribuídos:

• termodinâmica aplicada a sistemas químicos — UFBA, UFRJ/Coppe, USP e Unicamp;

• cinética e catálise e reatores químicos — UFRJ/Coppe, UFSCar, Unicamp, UFBA e USP;

• processos bioquímicos — UFRJ/Coppe e EQ, USP, UFSCar e Unicamp;

• fenômeno de transporte — UFRJ/Coppe, UFSCar e USP;

• operações unitárias e processos de separação — UFRJ/Coppe, USP, Unicamp, UFSCar, UFBa e UFRN;

• modelagem, simulação e controle — UFRJ/Coppe, USP, Unicamp e UFSCar.

Embora as linhas de pesquisa acima estejam sendo desenvolvidas em mais de uma instituição, existem certos tópicos que, dada a importância das indústrias químicas e de alimentos já existentes no país, deveriam ser objeto de ações específicas de fomento, especialmente:

• fenômenos de superfície (emulsões, colóides, cristalização etc.);

• reologia (fluidos não-newtonianos, escoamento e agitação, sistemas bi ou trifásicos);

• processos eletroquímicos;

• processos biotecnológicos;

• controle da poluição ambiental.

Várias dessas linhas são interdisciplinares, em consonância com a tendência do desenvolvimento recente nas engenharias.

O comitê assessor de engenharia química propôs um plano de metas físicas e orçamentárias para 1993, com um orçamento global de cerca de US$4,8 milhões, excluindo bolsas no país e no exterior. O comitê estima, ainda, um custo unitário para os auxílios individuais de US$20.000,00. Agregando-se a este valor uma participação em congresso nacional por ano e uma em congresso internacional a cada dois anos, chega-se a um montante de US$23.000,00 anuais necessários para assegurar uma participação ativa na área. O comitê recomendou, ainda, a concessão de 50 bolsas de doutorado e 10 de pós-doutorado no exterior.

5. A subárea de engenharia elétrica

Situação geral da subárea no país

Como foi mencionado, entre as diversas subáreas da engenharia, a elétrica é a que concentra o maior número de cursos e pesquisadores. Segundo a Capes, no biênio 1990/91 existiam 19 cursos de pós-graduação, dos quais sete ofereciam mestrado e doutorado e 12 apenas o mestrado.[1] Em diversos cursos, o número de doutores é bem menor que o de docentes permanentes, indicando uma presença expressiva de não-doutores na pós-graduação. Dos 19 cursos, 11 são consolidados no nível de mestrado e apenas três em nível de doutorado (UFRJ/Coppe, Unicamp e PUC/RJ).

Em 1991, 309 alunos completaram o curso de mestrado e 48 o de doutorado. Embora significativos, quando comparados com os das demais subáreas, esses números são ainda insuficientes para atender às necessidades apenas dos cursos de graduação no país, sem levar em conta os demais setores da economia. Segundo dados do CNPq, em maio de 1992, havia 120 bolsistas de doutorado e cinco de pós-doutorado no exterior. Calculando em quatro anos o tempo médio de titulação, estima-se o retorno de cerca de 30 recém-doutores a cada ano, número que, acrescido dos titulados no país (48 em 1991), aponta para uma situação de grande dinamismo da engenharia elétrica, com a titulação de mais de 70 doutores a cada ano.

Em 1991, a produção científica em revistas internacionais totalizou 79 artigos: cerca de 0,19 trabalho por docente-doutor, índice nitidamente abaixo do potencial da subárea. O índice produção total/docente-doutor, por sua vez, era de 1,71, situando a engenharia elétrica abaixo da média das engenharias.

Ainda em 1991, houve 23 pedidos de patentes e protótipos, provenientes, sobretudo, da Faculdade de Engenharia Industrial (FEI), com oito pedidos, e do Instituto Militar de Engenharia (IME), com cinco pedidos. Embora ambos os cursos enfrentem problemas para se consolidar, fica claro que sua vocação para desenvolvimento (P&D) se sobrepõe à dimensão acadêmica.

A distribuição dos pesquisadores que recebiam bolsas de pesquisa do CNPq, em maio de 1992 (tabela 6), revela aspectos interessantes quando comparados aos de outras subáreas. Tomando como exemplo a engenharia química, onde quase metade dos docentes doutores estava no sistema, na engenharia elétrica apenas 98 dos 409 docentes doutores recebem bolsa de pesquisa. O percentual de pesquisadores na categoria I também é bem mais baixo na engenharia elétrica do que na química. Não há motivo aparente para essas discrepâncias, pois ambas são áreas tradicionais e enfrentaram processos de implantação muito semelhantes.

[1] O curso de telecomunicações da Universidade Mackenzie (UM) foi considerado como mestrado apenas, por ser ainda incipiente e por não ter qualquer aluno de doutorado.

Este aspecto decorre da utilização de critérios de avaliação bastante distintos pelos comitês assessores, com o CA da engenharia elétrica atuando com maior rigor, pelo menos no que diz respeito à classificação nos níveis mais altos da "carreira de pesquisa", conforme já observado por Nussenzweig (1993).

Tabela 6
Bolsistas de pesquisa do CNPq: engenharia elétrica e biomédica

Nível	Categoria I	Categoria II
A	3	22
B	6	28
C	8	31
Total	17	81

Fonte: CNPq, maio de 1992.

Atuação em pesquisa

Optou-se, nesse estudo, por dividir a engenharia elétrica nos seguintes setores: eletrônica e microeletrônica, sistemas de energia, eletrônica de potência, telecomunicações, e sistemas de controle. O grau em que cada um deles é coberto pelos diferentes cursos de pós-graduação varia bastante:

• eletrônica e microeletrônica — excetuando-se a Universidade Mackenzie (UM), os outros 18 cursos atuam neste setor. Na área de microeletrônica, os principais grupos estão na Unicamp e na USP; na área de eletrônica, os principais grupos estão na UFRJ/Coppe, na UFSC e na Unicamp;

• sistemas de energia elétrica — também conhecido como sistemas de potência, este setor conta com grupos atuantes em quase todos os cursos, excetuando-se o ITA, a UFPe e a FEI. Os grupos mais ativos estão na Unicamp, UFRJ/Coppe, PUC-RJ e UFSC, entre outros; no setor de máquinas elétricas, destacam-se as equipes da USP (Politécnica) e da UFSC;

• telecomunicações — os principais grupos estão na Unicamp e na PUC-RJ;

• controle — abrange controle e automação — ambas de caráter interdisciplinar — e os principais grupos estão na UFRJ/Coppe, Unicamp, UFSC e USP-SP, ainda que muitos processos automatizados sejam cobertos pela eletrônica;

• eletrônica de potência — um dos setores que, nos últimos 10 anos, mais se desenvolveu, já existindo, na UFSC e na UFRJ, grupos com atuação internacional, além de outros, bastante ativos, na UFPb, UFMG, UFU.

O Comitê Assessor de Engenharia Elétrica do CNPq propôs um plano de metas físicas para 1993 no valor de US$4,58 milhões, excetuando-se as bolsas de estudo. O critério adotado foi o de definir um universo desejável de 200 bolsas de pesquisa para a subárea, onde cada pesquisador teria apoio para uma participação em congresso nacional a cada ano e uma em congresso internacional a cada dois anos. Seriam ainda apoiados um pesquisador visitante por ano para cada curso e a realização de congressos no país promovidos pelas sociedades científicas da subárea como a Sociedade Brasileira de Automática (SBA), a Sociedade Brasileira de Engenharia Biomédica (SBEB), a Sociedade Brasileira de Telecomunicações (SBT) etc. O comitê recomendou, ainda, a concessão de 100 bolsas de doutorado e 20 de pós-doutorado no exterior, em 1993.

Principais institutos de pesquisa

Eletrônica e microeletrônica

O Laboratório de Microeletrônica (LME), da USP, fundado em 1968, o CTI, da Unicamp, o Laboratório de Sistemas Integráveis (LSI), da USP — os dois últimos criados mais recentemente —, são os principais centros para o desenvolvimento da tecnologia de circuitos integrados e microcomputadores, e de robótica (CTI).

Sistemas de energia elétrica

O Centro de Pesquisas Elétricas (Cepel) da Eletrobrás, implantado em 1974, tem-se destacado nesse setor. Os enormes investimentos no setor elétrico, aliados à existência de centros de pós-graduação capazes de suprir os recursos humanos necessários, permitiram ao Cepel se desenvolver rapidamente (Carneiro Jr., 1990), e alguns de seus grupos têm atuação internacionalmente reconhecida em tecnologias de alta tensão, materiais, estabilidade de sistemas elétricos, planejamento de sistemas elétricos, e transitórios eletromagnéticos, entre outros. Após um longo período de declínio, o Instituto de Eletrotécnica da USP vem se fortalecendo na área de ensaios elétricos e máquinas elétricas. O Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) atua na área de ensaios industriais, da mesma forma que a Companhia Paranaense de Eletricidade (Copel), que mantém o Laboratório de Eletrotécnica e Eletrônica (LAC) em Curitiba.

Telecomunicações

Em 1974, foi criado o CPqD da Telebrás, com a participação ativa de professores do Cetuc (PUC/RJ), da Unicamp e do ITA. Tal como ocorreu com o Cepel, o binômio investimentos públicos/recursos humanos capacitados favoreceu a rápida consolidação do CPqD e seu engajamento em atividades de P&D de ponta, de nível internacional.

Robótica

O Cenpes/Petrobras, como parte de seu programa de capacitação para exploração de petróleo em águas profundas, mantém um grupo dedicado à robótica submarina (ver subseção Principais institutos de pesquisa, na seção 8 deste trabalho).

6. Engenharia biomédica

Situação geral da subárea no país

No Brasil, existem apenas três departamentos dedicados exclusivamente à engenharia biomédica: o Programa de Engenharia Biomédica da UFRJ/Coppe, o Núcleo de Estudos em Engenharia Biomédica da UFPb e o Departamento de Bioengenharia da USP-São Carlos. Além destes, atuam na subárea diversos grupos cujos dados estão inseridos em estruturas mais abrangentes, dificultando assim a análise específica em biomédica: o Departamento de Engenharia Biomédica da Faculdade de Eletricidade da Unicamp, o Departamento de Eletrônica da Escola Politécnica da USP, o Departamento de Engenharia Elétrica da UFSC e, mais recentemente, o Cefet, do Paraná.

Dos três cursos, o mais antigo, implantado na UFRJ/Coppe em 1971, é o único consolidado e, mesmo assim, apenas no nível de mestrado. Os outros dois, apesar de datarem de 1978, ainda não se consolidaram sequer no nível de mestrado. Dos centros não-cadastrados junto à Capes, o Departamento de Biomédica da Unicamp apresenta um bom desempenho no nível de mestrado, embora os dados disponíveis não permitam identificar como atuam outros centros como os da USP, da UFSC e do Cefet.

Em 1991, o curso de bioengenharia da USP-São Carlos contava com 13 docentes permanentes e 12 doutores, enquanto o da UFRJ tinha 14 docentes permanentes e nove doutores. Apesar disso, o peso da produção científica da subárea se concentra, em todos os aspectos, no curso da UFRJ. A produtividade do curso da USP-São Carlos deixa muito a desejar, face ao potencial aparente do corpo docente. Já o grupo da Unicamp, com oito doutores e um mestre em 1992, é o que apresenta melhor titulação. Os índices de produtividade eram de 1,0 trabalho em revistas internacionais por docente — o mais alto entre todas as engenharias — e de 1,45 em termos de produção total/docente doutor.

Para fins de concessão de bolsas pelo CNPq, a engenharia biomédica faz parte da engenharia elétrica, tornando-se impossível, portanto, identificar o padrão de distribuição de bolsas de pesquisa no exterior para essa subárea. O quadro geral da engenharia biomédica é bastante precário, não só tendo em vista as necessidades do país como também quando se considera que nos hospitais deveriam existir profissionais formados em engenharia clínica, para melhorar as condições de manutenção e de utilização dos equipamentos hospitalares. Uma das maiores dificuldades da área é o fato de ela existir apenas no nível de pós-graduação, o que tem impedido o seu crescimento mais rápido, pois é freqüente o ingresso, em departamentos de engenharia elétrica, de mestres formados no setor, que freqüentemente acabam fazendo doutorado e pesquisas *fora* da área de biomédica.

Atuação em pesquisa

A engenharia biomédica inclui a bioengenharia, a engenharia clínica, a engenharia de reabilitação e a engenharia de sistemas de saúde. A situação de cada uma delas nos diferentes cursos de pós-graduação (inclusive aqueles não-credenciados especificamente na subárea) e centros de pesquisa é a seguinte:

• bioengenharia — é o setor mais tradicional, com atividade de pesquisa em todas as universidades; os principais grupos estão na UFRJ/Coppe, na Unicamp e no Incor (Instituto do Coração);

• engenharia clínica — somente alguns grupos atuam neste setor, e o mais importante é o da Unicamp, embora a UFPb e o Cefet (PR) também realizem pesquisas nessa área;

• engenharia de reabilitação — esta é uma área pouco desenvolvida nas universidades, mas ativa em outras unidades e institutos de pesquisa (como o Hospital Sarah Kubitschek e o Hospital das Clínicas de São Paulo). A Unicamp também atua nessa área;

• engenharia de sistemas de saúde — este setor incorpora parte do que é hoje conhecido como informática em saúde; o principal grupo, com mestrado e doutorado, está na UFRJ/Coppe. Também realizam pesquisa de peso nessa área a Escola Paulista de Medicina, o Incor e a Unicamp.

7. Engenharia civil e sanitária

Situação geral da subárea no país

Apesar de ser a mais tradicional de todas as engenharias, a engenharia civil não foi a primeira a implantar a pesquisa e a pós-graduação no país nem suas atividades nessas áreas têm tido destaque especial. Ainda assim, cabe uma menção

aos trabalhos pioneiros realizados por diversos institutos, notadamente o Instituto Nacional de Tecnologia (INT), criado em 1922, e o Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), fundado em 1934, no campo do concreto armado e em outros aspectos da subárea (Aidar & Cytrynorwicz, 1993:17-21).

Em 1990/91, existiam 17 cursos de pós-graduação, três deles em engenharia sanitária. Do total, somente oito cursos incluíam o doutorado e apenas quatro (UFRJ/Coppe, PUC-RJ, USP e USP-São Carlos — estruturas) eram consolidados no mestrado e doutorado, e um apenas no mestrado (UFRGS). A situação da engenharia sanitária é bastante precária, uma vez que o curso mais antigo (UFMG) tem conceito regular inferior (C –), e os outros dois estão ainda em fase de implantação.

Em 1991, foram titulados apenas 219 mestres e 45 doutores, número pouco expressivo quando comparado com as demais engenharias.

Em 1991, a produção científica em termos de publicação de artigos em revistas internacionais resultou em um índice de apenas 0,125 trabalho por docente-doutor, equivalente a uma média de um trabalho a cada oito anos. O índice de produção total/docente-doutor foi de 1,97, abaixo da média entre as engenharias. Esse índice é função da maior participação em congressos nacionais e internacionais, em detrimento da publicação em revistas. Tanto o comitê assessor do CNPq da subárea quanto o GTC da Capes apontam para esta distorção e recomendam maior empenho em publicar em periódicos já estabelecidos.

A subárea não registrou qualquer pedido de patente no biênio 1990/91.

Atuação em pesquisa nas universidades

Um traço marcante da subárea nas últimas décadas (Seplan/CNPq, 1983) tem sido sua crescente interdisciplinaridade em função da introdução de novos conhecimentos desenvolvidos nas áreas de cálculo numérico, técnicas computacionais, instrumentação eletrônica e novos materiais, entre outras. Criou-se, também, uma interface cada vez maior com outras áreas das ciências, inclusive não-exatas, como a arquitetura, a saúde e as ciências sociais.

Uma das conseqüências disso é a dificuldade em se definir os setores que compõem a engenharia civil. Na análise a seguir, adotou-se a mesma divisão sugerida por Alcântara Gomes (Seplan/CNPq, 1983), excetuando-se o setor de transportes, classificado aqui como subárea da engenharia:

• construção civil — a USP-Politécnica, a UFRGS e a UFF são os únicos centros que atuam nessa área, quase sempre através de cursos de mestrado e especialização, ao passo que geralmente a pesquisa é pouco desenvolvida;

• estruturas — os principais grupos estão na UFRJ/Coppe, PUC-RJ, USP-São Carlos, USP-Politécnica, UFRGS e UFMG, este último criado mais recentemente;

• geotecnia — os principais grupos estão na UFRJ/Coppe, PUC-RJ, USP-São Carlos e UnB (Brasília);

• recursos hídricos, saneamento e sanitária — USP-São Carlos, UFRJ/Coppe, USP-Politécnica e UFCe são os principais centros que trabalham com essa área.

O comitê assessor do CNPq recomendou a concessão de 200 bolsas de pesquisa e de US$2,8 milhões para auxílios à pesquisa e realização de eventos. Partindo da hipótese de que esse montante seria distribuído pelos 200 bolsistas, ter-se-ia um valor médio de US$14 mil para apoio aos pesquisadores, inferior ao proposto para as engenharias química e elétrica. O comitê assessor propôs ainda 100 bolsas de doutorado e 50 de pós-doutorado no exterior.

Institutos de pesquisa tecnológica

No início da década de 80, um número expressivo de institutos de pesquisa atuava em vários setores da engenharia civil (Seplan/CNPq, 1983): IPT, INT, IPR, Ceped, Itep (PE), Cientec (RS). Na década de 90, contudo, apenas o IPT vem desenvolvendo um trabalho importante nessa área; os demais ou foram desativados (IPR), ou passaram a se dedicar a outros setores.

A desativação de centros de pesquisa tecnológica na engenharia civil mereceria um estudo à parte identificando suas causas e conseqüências para o país.

8. Engenharia mecânica e aeroespacial

Situação geral da subárea no país

Segundo dados da Capes, existem, nessa área, 18 cursos, dos quais nove de doutorado. Em 1991, havia 333 docentes permanentes, 284 dos quais com doutorado. Foram titulados 216 mestres e 34 doutores, número considerado pequeno pelo comitê assessor do CNPq que, mais uma vez, aponta para o desequilíbrio entre as engenharias. O comitê assessor estima que, no Brasil, existam apenas 0,75 engenheiro mecânico para cada 1 mil habitantes da PEA, enquanto nos Estados Unidos esta densidade é 11 vezes maior (8,75 para cada 1 mil habitantes).

O comitê assessor alerta, ainda, para o fato de que, entre 1987 e 1990, a subárea evoluiu bem mais lentamente que as demais em praticamente todas as modalidades de apoio do CNPq — bolsas de iniciação científica, mestrado, doutorado etc. —, deixando claras as seqüelas da crise da economia brasileira sobre a demanda por engenheiros e pesquisadores qualificados na área de engenharia mecânica.

Em 1991, a produção científica foi de 0,19 trabalho publicado em revistas internacionais por docente-doutor e o índice de produção total/docente-doutor atingiu 3,09, o maior entre todas as subáreas da engenharia. Este índice é um reflexo da intensa participação em congressos no país e no exterior, já que a engenharia mecânica é, sem dúvida, uma das mais organizadas no tocante à realização de eventos no país.

A subárea teve sete pedidos de patentes ou protótipos no biênio 1990/91.

Atuação em pesquisa nas universidades

As áreas de concentração da engenharia mecânica seguem a classificação a seguir, acrescida da identificação dos grupos mais atuantes:

• processos de fabricação — os principais grupos estão na UFSC, USP-São Carlos e Unicamp;

• acústica e vibração — os grupos da UFSC, UFRJ/Coppe e Unicamp são os que mais se destacam;

• mecânica dos sólidos e projeto de máquinas (robótica) — o Laboratório Nacional de Computação Científica (LNCC) do CNPq tem um grupo muito ativo em mecânica dos sólidos; existem grupos importantes na UFSC, na PUC-RJ, na UFRJ/Coppe, na Unicamp e na UFU; a robótica, por sua vez, é incipiente no país, embora existam alguns grupos importantes na UFRJ/Coppe e na UFSC;

• termociências — a Unicamp, a UFSC, a PUC-RJ e a UFRJ/Coppe têm grupos bem consolidados, embora haja também grupos na USP-Politécnica, na UnB e na UFU, os dois últimos ainda não-consolidados;

• mecânica dos fluidos — os grupos mais fortes estão na UFSC, na PUC-RJ, na UFRJ/Coppe, na Unicamp e no ITA.

O comitê assessor do CNPq definiu em US$50 mil por projeto o valor necessário para projetos integrados para o primeiro ano, e em US$30 mil o montante para os dois anos seguintes. Estimando-se que o potencial da subárea conduziria a uma aprovação de 70 projetos, o impacto orçamentário seria de US$3,5 milhões no primeiro ano, e de US$2,1 milhões nos anos seguintes. O comitê abrange também a subárea de engenharia naval e oceânica, analisada mais adiante neste trabalho (seção 10).

Além dos projetos integrados, que envolveriam em média três doutores cada, o comitê assessor apresentou uma proposta no total de US$ 4,355 milhões. O valor global para 1993 — incluindo os projetos integrados — atingiu, portanto,

US$ 7,655 milhões. O CA recomendou, ainda, a concessão de 70 bolsas no exterior para doutorado e de 16 para pós-doutorado.

Principais institutos de pesquisa

O Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe), com seus laboratórios sediados em São José dos Campos e Cachoeira Paulista, abriga grupos fortes em pesquisa tecnológica nos setores de combustão, aerodinâmica e simulação térmica. O Instituto de Atividades Espaciais (IAE) vem se dedicando ao desenvolvimento tecnológico na área de combustão.

Os investimentos da Petrobras na busca de reservatórios de petróleo na plataforma continental do Atlântico forçaram a empresa a desenvolver um intenso programa de capacitação técnica coordenado pelo Centro de Pesquisa Leopoldo Miguez, o Cenpes. Este programa começou no final da década de 70, dedicando-se, inicialmente, ao projeto de estruturas *Offshore*. O êxito da prospecção, com as sucessivas descobertas de novos campos, inclusive em águas profundas, conduziu a novos desafios tecnológicos. Para enfrentá-los, o Cenpes buscou o apoio de grupos de pesquisas nas universidades, notadamente na UFRJ/Coppe, e vem mantendo desde 1978 um convênio com esta instituição, abrangendo os mais diversos aspectos da produção de petróleo no mar: projeto de estruturas marítimas, interação mar-estruturas, proteção catódica, sistemas elétricos das plataformas, robótica submarina etc. A Petrobras passou a ser reconhecida internacionalmente como detentora de tecnologias de ponta na área de exploração em águas profundas (Carneiro Jr., 1990). O curso de engenharia do petróleo da Unicamp faz parte do mesmo projeto de capacitação da empresa. O Cenpes mantém, ainda, grupos bastante ativos nas linhas de fluidos não-newtonianos e escoamento bifásico.

Na área de P&D da indústria mecânica destaca-se a Embraco (SC), que tem uma forte interação com a UFSC e que exporta cerca de 60% de sua produção de compressores. A Metal Leve — que exporta diversas peças e componentes, notadamente cilindros para motores de combustão interna — montou um centro de P&D com a finalidade de realizar a transferência de tecnologias para os processos produtivos da empresa.

9. Engenharia metalúrgica de materiais e de minas

Situação geral da subárea no país

Segundo dados da Capes para o biênio 1990/91, a maioria dos cursos se concentra na área de metalurgia (seis), com dois cursos recentemente criados na área de materiais e apenas dois em minas. O curso da UFRJ — que abrange os três

setores — e o da Unicamp — voltado exclusivamente para o petróleo — também estão computados entre os da engenharia mecânica.

Tratando-se de um setor de inegável importância estratégica para o país, e que mereceu atenção especial do governo central já na época do Império, através da criação da Escola de Minas de Ouro Preto, em 1875, o quadro geral da subárea chega a ser surpreendente. Apenas dois cursos são consolidados no nível de mestrado e doutorado, e outros dois, só no nível de mestrado.

Uma explicação para a lenta evolução da subárea, especialmente da engenharia de minas, é de natureza econômica: os capitais de risco envolvidos nas atividades minerais são muito elevados, e uma parcela substancial do risco se refere ao tratamento do minério para a obtenção econômica do resultado final. Este risco tem sido enfrentado por empresas multinacionais, que podem financiar as pesquisas em laboratórios próprios ou através de contratos. No Brasil, apenas as empresas estatais têm tido condições de investir em pesquisas desse tipo. Outra explicação, de natureza acadêmica, baseia-se no desenvolvimento da área de geociências (Seplan/CNPq, 1983), onde se concentram muitas linhas de pesquisa aplicada que poderiam se enquadrar igualmente no âmbito da engenharia de minas.

Nos setores de metalurgia e materiais, existe uma forte interação com a física, sobretudo do estado sólido, e com a química, em especial nas linhas de polímeros e catalisadores.

Em 1991, titularam-se 147 mestres e 18 doutores. A produção científica está concentrada em congressos nacionais e o índice produção total/docente-doutor atingiu o valor de 2,71, superior à média das engenharias, que é de 2,42. O índice de publicação de artigos em revistas internacionais é de 0,28 trabalho/docente-doutor, também acima da média para as engenharias química e elétrica. A subárea registrou apenas dois pedidos de patentes em 1991.

O comitê assessor da subárea classificou todos os pesquisadores-doutores na carreira de pesquisa do CNPq, merecendo destaque o número expressivo de doutores recém-titulados.

A distribuição dos pesquisadores entre as diversas categorias indica que o comitê assessor do CNPq tem sido bastante criterioso nas suas avaliações. Em maio de 1993, havia 120 pesquisadores bolsistas do CNPq, o que indica que quase metade do total de doutores da subárea estava integrada ao sistema de bolsas do CNPq.

Atuação em pesquisa

Ainda de acordo com o CA, em anos recentes a área de materiais vem experimentando um avanço tecnológico significativo, concentrando os maiores investimentos nas áreas de supercondutividade, materiais para microeletrônica (filmes e recobrimentos), materiais cerâmicos e compósitos.

Nos setores de minas e metalurgia extrativa, o envolvimento dos grupos mais consagrados tem-se direcionado para a etapa final de processamento dos produtos.

O impacto resultante de novos desenvolvimentos é de curto prazo, com reflexos quase imediatos na sociedade.

A situação dos diversos setores é resumida a seguir, com base na divisão setorial utilizada por Godoy (Seplan/CNPq, 1983):

• engenharia de minas — em razão da estreita relação com a geociências, existem, ao todo, segundo levantamento da Capes em 1991, 13 cursos de mestrado e doutorado, e 13 no nível só de mestrado; entre os cursos de mestrado, cinco obtiveram conceito A, 18, conceito B, e 3, conceitos inferiores (ou ainda não foram avaliados). Os principais grupos de pesquisa em geociências estão na Unicamp. Na engenharia de minas propriamente dita, os grupos mais atuantes estão na USP-SP (lavra de minas, pesquisa e recursos minerais, e processamento de minas), na UFMG e na UFRGS. A situação da subárea como engenharia é ainda bastante incipiente;

• metalurgia extrativa — os principais grupos estão na USP-SP, UFMG, UFRJ/Coppe, PUC-RJ e na UFRGS;

• metalurgia de transformação — os grupos mais ativos estão na UFRJ/Coppe, UFMG, USP-SO, UFRGS e UFSCar;

• metalurgia física — os principais grupos estão na UFRJ/Coppe, UFMG, PUC-RJ, UFSCar e USP-SP;

• materiais não-metálicos — existem apenas dois grupos com alguma expressão: na UFSCar e na UFRJ/Coppe.

De acordo com as metas físicas propostas pelo comitê assessor da subárea no CNPq para 1993, seriam apoiados 20 projetos, no valor de US$20 mil, 20 de US$30 mil, 10 de US$40 mil e cinco de US$50 mil. É uma proposta interessante, pois não reduz todos os projetos ao mesmo nível, permitindo que grupos com maior atuação experimental possam pleitear apoios mais substanciais. Os valores médios resultantes são sensivelmente superiores aos pleiteados pelos comitês das demais subáreas, com exceção daqueles projetados pelo CA de engenharia mecânica, para o primeiro ano de apoio a projetos integrados. O CA propôs, ainda, 20 bolsas no exterior para doutorado e 36 para pós-doutorado.

Principais institutos de pesquisa

A subárea dispõe de um número significativo de centros de pesquisa, públicos e privados. Os mais importantes são:

- Centro de Tecnologia Mineral (Cetem) do CNPq, em metalurgia extrativa;

- Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), em metalurgia extrativa, de transformação e física;

- Centro Técnico Aeroespacial (CTA), em metalurgia extrativa;

- Centro de Pesquisas Elétricas (Cepel), em metalurgia física e de transformação e em materiais;

- o Ipen, o IEN, e o Inpe (São José dos Campos), em materiais;

- o Cenpes/Petrobras, em geologia do petróleo.

Além destas, algumas empresas do setor siderúrgico mantêm centros de pesquisas: a Companhia Vale do Rio Doce (metalurgia extrativa), a Usiminas (metalurgia física, extrativa, de separação e de extração, de materiais etc.), a Fundição Tupy (metalurgia física e de transformação), a Companhia Siderúrgica Nacional e a Acesita (ambas já privatizadas).

10. Demais subáreas da engenharia

Não se pretende aqui fazer uma cobertura exaustiva de todas as subáreas da engenharia. Uma tarefa desse porte não só fugiria ao escopo deste trabalho, como requereria um tratamento multidisciplinar, uma vez que as fronteiras com as demais áreas do conhecimento se tornaram bastante difusas, em função das especializações que vêm surgindo em anos recentes. Dentro dessa perspectiva, não foram incluídas a engenharia de computação, de alimentos, florestal, agrícola, de pesca, e ainda áreas de concentração como planejamento energético e meio ambiente.

Engenharia da produção

A engenharia de produção se distingue das demais engenharias pelo seu alto grau de interdisciplinaridade, em que conhecimentos das áreas de ciências humanas e sociais têm a mesma importância que as ciências da engenharia propriamente ditas.

Por se situar na base do setor produtivo, a engenharia de produção desempenha um papel fundamental no desenvolvimento econômico e tecnológico de um país. No Brasil, o primeiro curso de graduação foi criado em 1957, na Epusp, e, atualmente, existem mais de 20 cursos no país, com grande demanda por parte dos alunos.

Existem sete cursos na pós-graduação, com apenas três no nível de doutorado, nenhum deles consolidados. O índice de produção total/docente-doutor foi de 1,47 em 1991, enquanto o índice de publicação em revistas internacionais é de apenas 0,09 artigo/docente-doutor. Ambos os índices estão entre os mais baixos nas engenharias, e há uma forte concentração da produção científica na UFSC, em congressos nacionais. Houve, entretanto, uma evolução expressiva no número de alunos titulados no mestrado, que se elevou de 63, em 1990, para 103, em 1991.

Os setores mais tradicionais e desenvolvidos da engenharia de produção são: gerência da produção, pesquisa operacional, engenharia econômica e engenharia do produto, embora existam outros, como organizacão do trabalho, gerência da tecnologia e sistemas de transporte (este último setor será incluído na subárea de engenharia de transportes).

A baixa produtividade da subárea se reflete na alocação de bolsas de pesquisa do CNPq: existiam apenas nove bolsistas na categoria I e 20 na categoria II, indicando que apenas 29 dos 89 docentes-doutores participavam do sistema em 1992, e desses, quatro estavam classificados no nível I.A.

As metas orçamentárias do comitê assessor da subárea para 1993 totalizam US$4,410 milhões, com valores estipulados, tanto para os projetos individuais quanto para os integrados, substancialmente mais altos do que os que foram recomendados para as demais subáreas. O comitê recomendou a concessão de 30 bolsas de doutorado e 10 de pós-doutorado no exterior em 1993.

Engenharia de transportes

A engenharia de transportes trata da teoria, dos métodos e das técnicas de planejamento, projeto, operação e gerenciamento de sistemas de transporte. Em nível de graduação, é considerada como especialidade da engenharia civil, naval, aeronáutica e de produção, embora na pós-graduação tenha adquirido o *status* de subárea. Os dados analisados a seguir não incluem três cursos de pós-graduação que, embora de outras subáreas, oferecem titulação com área de concentração em transportes, a saber: PUC/RJ (engenharia industrial), IME (ciências de computação) e UFPb (engenharia civil).

Existem cinco cursos de pós-graduação, dos quais três incluem o doutorado, nenhum deles consolidado. A produção científica em revistas internacionais, em 1991, foi de apenas 0,11/docente-doutor, bastante inferior à média das engenharias, enquanto o índice de produção total foi de 1,17, também muito inferior à média.

Os principais setores de estudos da engenharia de transportes são a engenharia de tráfego e segurança viária (UFRJ/Coppe), a infra-estrutura rodoferroviária (USP-SP e USP-São Carlos), a infra-estrutura aeroportuária (ITA), e transportes urbanos (UnB). São poucas as bolsas de pesquisa do CNPq concedidas aos docentes da subárea: apenas 17 dos 69 docentes-doutores estavam no sistema em 1992, dos quais cinco classificados na categoria I (apenas um na I.A) e 12 na categoria II.

As metas orçamentárias propostas pelo comitê assessor para 1993 totalizavam US$1,369 milhão, com grande ênfase na participação em congressos no exterior. O comitê assessor recomendou, ainda, a concessão de 41 bolsas no exterior, 25 para doutorado e oito para pós-doutorado.

Engenharia nuclear

A engenharia nuclear inclui, entre outros tópicos, a física de reatores, a termodinâmica e a análise de segurança, e incorpora conhecimentos de diversas subáreas da engenharia, notadamente mecânica, metalúrgica, química, civil e elétrica. Além destas, possui interfaces com a radiologia, a radioquímica e a radioecologia, entre outras, tendo, portanto, uma forte componente de interdisciplinaridade (Seplan/CNPq, 1983).

São seis os cursos de pós-graduação, dos quais dois (UFRJ/Coppe e USP) oferecem o doutorado. Diversas outras instituições oferecem cursos relacionados com a engenharia nuclear como área de concentração de programas de pós-graduação, especialmente a UFRGS e a PUC-RJ (ambas engenharia mecânica).

Por motivos históricos, dois cursos de planejamento energético estão relacionados na subárea, embora, a partir de 1991, eles tenham passado a ter existência autônoma. A produtividade em termos de artigos em revistas internacionais foi de 0,10 trabalhos/docente-doutor, enquanto o índice de produção total foi de apenas 0,45, muito inferior à média das demais subáreas. É provável que exista alguma distorção nesses índices, devido à ausência de registro da produção científica dos cursos da USP, da UFMG e do IME.

As metas físicas e o orçamento propostos pelo comitê assessor do CNPq para 1993 resultaram em um valor global de US$1,143 milhão, tendo o CA recomendado a concessão de 31 bolsas no exterior, 25 de doutorado e seis de pós-doutorado.

A participação dos 131 docentes-doutores da subárea no sistema de bolsas de pesquisa do CNPq é muito reduzida, registrando-se a existência de apenas três pesquisadores na categoria I e de 14 na categoria II.

Em termos de institutos tecnológicos, a Comissão Nacional de Energia Nuclear mantém diversos centros que desenvolvem pesquisas nas linhas de reatores e aplicações de energia nuclear: o Ipen (USP), o IEN (no campus da UFRJ) e

o CDTN (Rio de Janeiro). Mantém, ainda, o IRD, na área de radioproteção e dosimetria.

Na linha de aplicações, destaca-se a atuação do Centro de Energia Nuclear na Agricultura (Cena), que foi incorporado à USP.

Engenharia naval e oceânica

O ensino de engenharia naval no Brasil teve início em 1957, na USP, com a criação do curso de graduação na Escola Politécnica. Dois anos mais tarde, foi criado um curso semelhante na Escola de Engenharia da UFRJ. A pós-graduação se iniciou em 1967, quando a UFRJ implantou o mestrado, seguida pela USP, em 1970.

Em 1990/91, existiam apenas dois cursos de pós-graduação, ambos consolidados no nível de mestrado. O doutorado foi implantado na UFRJ/Coppe em 1989, e embora o da USP date de 1983, até hoje ainda não está plenamente consolidado.

A produção científica em termos de publicações em revistas internacionais foi quase nula no biênio analisado. O índice de produção total foi de 2,37 trabalhos por docente-doutor, ligeiramente inferior à média das engenharias. As metas físicas e o orçamento para 1993 elaborados pelo comitê assessor do CNPq estão incluídos na engenharia mecânica e aeroespacial.

11. Conclusões

Apesar das dificuldades em obter dados e informações sobre o estado das diferentes subáreas da engenharia, a análise detalhada das chamadas grandes áreas — química, elétrica (e biomédica), civil (e sanitária) e mecânica (e aeroespacial), metalurgia (minas e materiais) —, assim como das outras subáreas na seção 10, permite uma visão das engenharias cujos principais aspectos são resumidos a seguir.

• Os investimentos nacionais na formação tanto de profissionais quanto de pesquisadores estão mais direcionados a outras áreas de conhecimento — por exemplo, ciências humanas e sociais — do que às engenharias. Este aspecto fica ainda mais evidente nas comparações feitas nas seções 2 e 3 (subseções A formação de engenheiros e A pós-graduação em engenharia no contexto das áreas de conhecimento, respectivamente) com relação ao peso das engenharias em outros países.

• O quadro geral do conjunto das áreas indica que o país logrou estabelecer, no prazo relativamente curto de cerca de 30 anos, um respeitável sistema de pós-graduação e pesquisa.

• Enquanto a graduação registra uma distorção, com uma excessiva concentração de profissionais na engenharia civil, na pós-graduação houve uma distribuição mais uniforme e alinhada com as necessidades dos setores de pesquisa e de produção.

• As diversas subáreas da engenharia vêm seguindo processos distintos de evolução e consolidação, com a presença de casos de inegável sucesso e qualidade internacional de uns poucos grupos, ao lado de casos de grupos que permanecem incipientes, apesar de criados há algumas décadas.

• A produção científica vem evoluindo satisfatoriamente, embora de forma desigual nas diferentes subáreas, identificando-se uma preocupação crescente com a publicação de trabalhos em revistas internacionais. Este aspecto denota, de um lado, uma inserção mais incisiva dos grupos nacionais no cenário internacional, mas, de outro, tem suscitado alguma preocupação quanto à valorização de outros itens fundamentais, como a própria formação de recursos humanos e a realização de projetos de cunho tecnológico.

• Conforme discutido na seção 3 (subseção A pós-graduação em engenharia no contexto das áreas de conhecimento), é conveniente que as agências de fomento adotem um indicador baseado no valor dos contratos de consultoria e convênios, que servirá para identificar a freqüência de transferência de conhecimentos gerados nas áreas tecnológicas para o setor produtivo e deverá ser utilizado de forma complementar aos indicadores tradicionais.

• As propostas de custeio apresentadas pelos diversos comitês assessores do CNPq apontam para a necessidade de investimentos da ordem de US$20,5 mil por docente-doutor por ano. Tendo em vista a situação de extrema dificuldade que quase todos os centros de pós-graduação vêm atravessando nos últimos anos, esse investimento teria retorno quase imediato e ajudaria a recuperar parte dos equipamentos e laboratórios que estão sendo sucateados pela falta de recursos.

• Considerando o valor acima e o número total de 1.635 docentes-doutores nas engenharias, o custeio anual necessário para estimular o sistema de pós-graduação e pesquisa na área e retomar um ritmo satisfatório de atividade seria da ordem de US$33 milhões.

• É importante considerar que as propostas de custeio analisadas se basearam em metas físicas estimadas pelos comitês, e não na alocação de recursos entre as diversas modalidades de apoio. Portanto, os dados não podem ser tomados como uma base definitiva para a alocação de recursos, conforme será exemplificado a seguir.

• Os comitês das grandes áreas da engenharia (seções 4 e 9) recomendam a concessão, pelo CNPq, de um total de 420 bolsas de doutorado no exterior. Tomando como exemplo a engenharia elétrica, o CA recomendou a concessão de 100 bolsas.

• O custo médio anual do estudante de doutorado no exterior é da ordem de US$25 mil, bem superior ao custo médio por docente-doutor mencionado, de US$20,5 mil. Dados recentes divulgados pela UFRJ/Coppe (Coppe, 1993) apontam para um custo médio por aluno de pós-graduação de apenas US$5,5 mil, o equivalente a menos de 20% do custo de um bolsista no exterior.

• O custo total anual das 420 bolsas de doutorado no exterior recomendadas para as engenharias é, portanto, da ordem de US$10,5 milhões, sem considerar o apoio de outras agências.

• Embora seja inegável a necessidade de treinamento no exterior, a atual carência de recursos em praticamente todos os grupos de pesquisa (com a possível exceção de São Paulo, graças à atuação da Fapesp) leva a questionar se o programa de bolsas no exterior deve ser mantido nos níveis atuais. Caso fosse destinado um valor global a cada comitê assessor, com ampla liberdade de definição dos itens a serem apoiados, os resultados seriam bem diversos daqueles analisados neste trabalho, configurando um interessante exercício de alocação de recursos.

• A questão da destinação de parte dos recursos das bolsas no exterior para grupos selecionados no país, capazes de absorver alunos de doutorado, chegou a ser analisada no âmbito do CTC da Capes em 1992. Suspeita-se que essa política não tenha sido implantada em função do receio da agência de perder recursos após o primeiro ano de aplicação no item de custeio, logo não associado a "pessoal".

Em conclusão, o espectro de atuação no país abrange praticamente todas as subáreas das engenharias, embora tenham sido detectadas carências importantes nos seguintes aspectos:

• número ainda insuficiente de pesquisadores ativos em linhas de pesquisa estrategicamente importantes;

• dificuldades na manutenção de um fluxo contínuo de recursos, com repercussão direta na consolidação de laboratórios e linhas de pesquisa;

• falta de interesse do setor produtivo (excetuando-se, em algumas áreas, as empresas estatais) em investimentos de P&D.

Apesar das enormes dificuldades enfrentadas, os investimentos no sistema de pós-graduação e pesquisa nas engenharias, realizados nas últimas décadas,

Física

*Sérgio M. Rezende**

1. Apresentação da física

Esta seção baseia-se em grande parte em documentos elaborados por comissões nacionais de físicos nas quais o autor teve ativa participação (Secretaria de Planejamento/CNPq, 1978 e 1982; Sociedade Brasileira de Física, 1987) e em um documento de projeções da física nos EUA (Physics Survey Committee, 1986).

A física na sociedade

A física é o campo da ciência que investiga os fenômenos e as estruturas mais fundamentais da natureza, procurando sua compreensão e descrição em termos de leis as mais gerais possíveis. A física investiga desde partículas subatômicas e sua estruturação em átomos e moléculas, até fenômenos que envolvem grandes aglomerados destes, como a matéria ordinária. Nessa escala, por exemplo, suas leis e métodos são usados para o estudo da Terra e dos fenômenos que ocorrem em sua atmosfera. Em uma escala maior, essas leis e métodos permitem uma descrição do Universo como um todo, e a criação de modelos para a sua evolução.

No processo de compreensão da natureza, as investigações físicas têm possibilitado o domínio de fenômenos naturais e a criação de fenômenos materiais e sistemas artificiais que têm contribuído decisivamente para o avanço de outros campos da ciência e para o progresso tecnológico da humanidade. Foram as investigações de físicos europeus sobre os fenômenos elétricos e magnéticos, no século passado, que levaram à invenção do gerador e do motor elétricos, utilizados atualmente para gerar energia elétrica e para produzir movimento, numa variedade enorme de aplicações que afetam nossa vida diária. Essas mesmas investigações levaram à descoberta, no século passado, de que a luz é uma onda eletromagnética. Ondas desta natureza, mas com menor freqüência, propiciaram a invenção do rádio, da televisão, do radar e dos sofisticados meios de telecomunicações que estão incorporados na sociedade moderna.

A descoberta da mecânica quântica na década de 20 possibilitou a compreensão detalhada da estrutura atômica e das partículas fundamentais da natureza. Além de abrir espaço para um grande desenvolvimento da física e de outros cam-

---

* Departamento de Física, Universidade Federal de Pernambuco.

pos da ciência, como a química, a biofísica e a astrofísica, por exemplo, a mecânica quântica possibilitou aprofundar o conhecimento sobre os materiais e conduzir à descoberta de novos fenômenos. Um deles, o da condução eletrônica em semicondutores, possibilitou a invenção do transistor em 1947 e dos circuitos integrados no final da década de 50. Essas invenções revolucionaram a eletrônica e abriram caminho para a disseminação dos computadores que estão transformando os costumes da sociedade. Outra invenção, a do laser em 1960, proporcionou o advento das comunicações ópticas e está produzindo profundas modificações na eletrônica. Muitas descobertas no domínio da física têm também contribuído para outros campos importantes da atividade humana. Este é o caso da tomografia de raios X, da ultra-sonografia, da cirurgia com laser e, mais recentemente, da tomografia de ressonância magnética nuclear, que tem contribuído enormemente para o progresso da medicina.

A física se encontra em estágio de grande vitalidade, e quase toda a atividade atual de pesquisa é feita sobre temas inexistentes há 100 anos. A maioria deles decorre da descoberta da estrutura atômica da matéria e sua compreensão por meio da mecânica quântica. Na física de hoje, são necessárias condições muito especiais para produzir e analisar os fenômenos estudados, o que tem levado a espetaculares sucessos tecnológicos que suscitam grandes investimentos nesta área e, conseqüentemente, um grande número de profissionais dedicados à pesquisa física atualmente. Esses dois aspectos, a dificuldade em produzir e analisar os fenômenos e o grande número de participantes do panorama científico contemporâneo, estabelecem uma diferença importante entre a física de nossos dias e a do início do século. Apesar de o método científico básico permanecer, em essência, inalterado, o pesquisador moderno necessita de equipamento sofisticado, apoio técnico de alto nível, infra-estrutura adequada e acesso rápido aos resultados obtidos por outros pesquisadores. Em geral, pesquisadores, estudantes e técnicos de apoio trabalham congregados em grupos de pesquisa, que normalmente recebem recursos diretamente dos órgãos financeiros. Raramente os físicos trabalham isoladamente, e as publicações científicas em geral são assinadas por vários autores. Com freqüência, a colaboração científica envolve pesquisadores de outras áreas ou extrapola os muros das instituições, congregando pessoas de vários locais ou até mesmo de países diferentes.

Finalmente, a complexidade dos equipamentos e da linguagem matemática das teorias tornou inevitável a divisão dos físicos em duas categorias: teóricos e experimentais. Os experimentais realizam o contato concreto com os fenômenos, planejando, construindo e utilizando equipamentos para testar conjecturas geradas pelas próprias experiências ou sugeridas pelos teóricos. Estes, por sua vez, trabalham preponderantemente na elaboração de modelos abstratos para conjuntos de fenômenos ou, em nível mais avançado, na construção de teorias. Ambos são indispensáveis ao progresso da física. Com freqüência, os equipamentos usados pelos físicos são criados e desenvolvidos pelos próprios grupos de pesquisadores e, muitas vezes, encontram aplicações na indústria e em outros campos da ciência.

O moderno processo científico é complexo e dispendioso, e seu desenvolvimento e manutenção dependem de decisões políticas do poder público que afetam de muitas maneiras toda a sociedade. Como em outros campos da ciência, as descobertas e invenções dos físicos podem contribuir tanto para a melhoria das condições de vida em nosso planeta quanto para destruir a própria vida. Como utilizar as descobertas científicas apenas para o bem é um dos principais desafios da sociedade moderna.

Além de contribuir para o avanço das fronteiras do conhecimento humano, a física tem um importante papel na formação de profissionais que exercem atividades essenciais na sociedade, como engenheiros, médicos, técnicos de diversas especialidades etc. Por esta razão, as universidades e escolas de formação profissional têm grande número de professores de física que, em geral, são físico-pesquisadores. Mesmo assim, nos países desenvolvidos, apenas uma fração dos físicos (30-40%) exerce suas atividades em instituições de ensino. A maior parte trabalha na indústria, em laboratórios com missões específicas ou centros de pesquisa. Este não é, contudo, o caso do Brasil, onde as oportunidades de emprego de físicos na indústria, embora crescentes, são ainda muito reduzidas.

Áreas da física

A física é um campo extremamente sofisticado da ciência e, nos dias de hoje, é subdividida em várias áreas distintas. Na perspectiva da Sociedade Brasileira de Física, a física se diferencia em:

- física das partículas elementares e áreas correlatas;
- física nuclear;
- física da matéria condensada;
- física atômica, molecular e óptica;
- física de plasmas;
- áreas interdisciplinares;
- ensino básico de física.

Segue-se uma descrição resumida das principais características e objetivos de pesquisa dessas áreas, visando posteriormente situar o estado da física no país.

Física das partículas elementares

O objetivo da física das partículas elementares é a descoberta e a compreensão dos constituintes mais simples da matéria e das forças básicas que atuam entre eles, em especial das leis básicas e princípios unificadores que forneçam um quadro racional dos fenômenos já conhecidos e possam prever fenômenos novos.

Uma partícula elementar é aquela que não apresenta estrutura interna. A caracterização das partículas elementares tem variado conforme a época. Os átomos foram considerados os constituintes mais simples da matéria por longo tempo, até que, no início deste século, descobriu-se que eles eram constituídos de um núcleo, formado por prótons e nêutrons, e por elétrons. Os prótons e nêutrons foram considerados elementares por cerca de 50 anos, até se descobrir, nas duas últimas décadas, que eles possuem uma estrutura interna formada por partículas mais simples, chamadas quarks.

Na física das partículas elementares, as experiências consistem basicamente na observação dos resultados das colisões entre partículas, a fim de obter informações acerca de suas interações. Quase todas as experiências nessa área são efetuadas utilizando-se aceleradores que produzem feixes de partículas de alta energia que são utilizados para o estudo de colisões com alvos adequados. Devido à necessidade de um aporte apreciável de recursos financeiros para a construção de grandes aceleradores de partículas, existem poucos laboratórios no mundo em condições de realizar experiências de vanguarda nessa área. Isto faz com que a cooperação científica internacional seja essencial para a pesquisa nesta área.

O esforço para a compreensão das partículas elementares tem extrapolado para áreas tradicionalmente distantes, como relatividade, gravitação, cosmologia, astrofísica e a própria física matemática. Entre os tópicos mais vibrantes da pesquisa atual nestas áreas correlatas estão os buracos negros e as ondas gravitacionais. A existência de buracos negros é uma das conseqüências da relatividade geral. Neles a atração gravitacional se torna tão intensa que, classicamente, nem mesmo a luz pode escapar. A observação experimental desse fenômeno é ainda uma questão controvertida. Ondas gravitacionais estão na mesma situação, já que sua existência não foi ainda diretamente confirmada pela experiência.

Um dos resultados mais importantes da relatividade geral é o modelo cosmológico do universo em expansão, a partir da exploração inicial de um universo pequeno e muito quente, seguida de sua expansão e resfriamento. A descoberta de uma radiação de fundo isotrópica de 3°K de temperatura deu um apoio experimental muito importante a este modelo da origem do universo.

Física nuclear

Compreende os seguintes estudos: da estrutura de núcleos nos estados fundamentais e excitados; das interações entre núcleos e outras partículas, tais como

fótons, elétrons, mésons etc., no que diz respeito tanto à natureza da interação envolvida quanto à informação sobre a estutura do núcleo assim obtido; das interações entre os componentes dos núcleos, chamados núcleons; e da interação de núcleos ou radiações nucleares com a matéria.

Os problemas da física nuclear são caracterizados pelo fato de que a interação responsável pela agregação de núcleons em núcleos só é conhecida em termos fenomenológicos, contrastando fortemente com a física atômica. Além disso, a estrutura nuclear não é caracterizada nem como um sistema de poucos corpos quase independentes, como os elétrons das camadas atômicas, nem como um sistema de muitos corpos, típico da matéria condensada. As experiências e as teorias até agora desenvolvidas revelam que o núcleo tem um rico espectro de modos de excitação que ainda desafia as explicações teóricas. A extensão do estudo de interações nucleares até energias mais altas e a sistemas mais complexos, como, por exemplo, nas interações entre núcleos complexos acima da barreira coulombiana, revela novos e fascinantes modos de excitação.

Atualmente, as principais ferramentas da física nuclear são aceleradores eletrostáticos e ciclotrons para baixas energias, aceleradores lineares e outros tipos para energias mais altas. Os reatores ainda oferecem interessantes possibilidades para a pesquisa nessa subárea.

Uma área onde o impacto de física nuclear transcende as fronteiras das ciências exatas, tendo imensas implicações sociais, econômicas e políticas, é a de energia nuclear. Ela se destaca, tanto por seus aspectos positivos quanto negativos, como uma das principais causas do reconhecimento da relevância do papel da ciência na sociedade moderna.

Física da matéria condensada

A física da matéria condensada investiga os estados da matéria nos quais os átomos constituintes estão suficientemente próximos e interagem simultaneamente com vários vizinhos. É uma área de investigação básica, que procura a explicação detalhada de propriedades e fenômenos da matéria condensada a partir dos conceitos e das equações fundamentais da mecânica quântica e da física estatística. São particularmente interessantes as propriedades elétricas, ópticas, magnéticas, mecânicas e térmicas. Por outro lado, a física da matéria condensada tem uma enorme quantidade de aplicações na tecnologia moderna. Foi a partir de investigações nesta área que surgiram grandes inovações tecnológicas como os transistores, os circuitos integrados, os microprocessadores, os fios supercondutores e os lasers semicondutores que deram origem às comunicações ópticas.

Esta área da física começou a adquirir características próprias apenas a partir de 1948, inicialmente sob o nome de física do estado sólido. Foi a descoberta do transistor naquele ano que deu enorme impulso à pesquisa em física de sólidos.

Na década de 50 os trabalhos nesta área estavam concentrados nos sólidos cristalinos, cujos íons formam um arranjo ordenado periódico. Com o progresso

das técnicas de investigação experimentais e teóricas, esta área se estendeu a materiais como o vidro, polímeros orgânicos diversos (teflon, poliacetileno etc.), ligas amorfas, e até mesmo aos líquidos, passando a ser conhecida como física da matéria condensada. Nessa área da física trabalham atualmente mais de 40% dos físicos em todo o mundo e a cada ano surgem novas linhas de pequisa, impulsionadas pela descoberta de novos fenômenos e materiais artificiais. Essas linhas, por sua vez, aumentam o potencial para o desenvolvimento de novos dispositivos que encontram aplicações nos mais variados segmentos tecnológicos.

Entretanto, não foi apenas por causa de sua importância tecnológica que a nova área se desenvolveu rapidamente. A enorme variedade de fenômenos que os elétrons e os núcleos apresentam coletivamente em sólidos deu origem a descobertas fundamentais e excitantes. A física da matéria condensada é, atualmente, uma das áreas mais estimulantes da ciência, contribuindo continuamente para a descoberta de novos fenômenos fundamentais e de novos materiais avançados. Apenas nos últimos 10 anos podem-se destacar: a descoberta do efeito Hall quântico; o desenvolvimento de estruturas artificiais formadas por materiais semicondutores ou materiais magnéticos, fabricados pela deposição sucessiva de monocamadas atômicas formando super-redes, heteroestruturas ou poços quânticos; a descoberta de efeitos magnéticos e eletrônicos em sistemas de dimensionalidade menor que três; a identificação e compreensão de fenômenos críticos e transições de fase em sistemas complexos; a formulação teórica e a observação experimental de fenômenos de turbulência e caos em uma grande variedade de sistemas; a descoberta de processos de condução por ondas de densidade de carga; e, mais recentemente, a síntese de materiais supercondutores a temperaturas mais altas.

Uma característica importante desta área é seu caráter descentralizador. É possível investigar um problema de fronteira em materiais com laboratórios de custos e dimensões muito pequenos em comparação com os das grandes máquinas utilizadas na física nuclear ou de partículas. Além disso, ela utiliza uma grande variedade de técnicas experimentais baseadas em instrumentação eletrônica, óptica e criogênica, favorecendo, portanto, a formação de técnicos e pesquisadores. Estas duas características, laboratórios pequenos e com grande variedade de técnicas, associadas a uma proximidade com a tecnologia, são responsáveis pela disseminação desta área de pequisa em todo o mundo, assim como no Brasil.

Física atômica, molecular e óptica

A física atômica e molecular estuda a estrutura e os fenômenos eletrônicos em átomos individuais ou em átomos que compõem moléculas isoladas. As tentativas de entender a estrutura dos átomos constituíram a base da física moderna, desenvolvida nas décadas de 20 e 30. Depois de resolvidos os problemas mais simples, o interesse dos físicos se deslocou para as áreas da física nuclear e de partículas elementares e, mais tarde, para a do estado sólido, deixando os problemas da estrutura de moléculas para os químicos. Nas últimas décadas, entretanto, graças ao desenvolvimento dos lasers, das modernas técnicas ópticas e de produção de feixes atômicos e moleculares, esta subárea foi revolucionada, tornando-se uma das mais importantes da física. Como as técnicas ópticas são atualmente uma das principais ferramentas para o estudo de átomos e moléculas e, por outro lado, átomos e moléculas constituem os sistemas mais simples para o teste de fenômenos de interação radiação-matéria, a óptica é freqüentemente incorporada à mesma subárea da física atômica e molecular.

Nesta subárea, a introdução de novas técnicas espectroscópicas tem possibilitado medidas muito precisas de várias grandezas fundamentais e colocado novos desafios do ponto de vista teórico. Uma lista não-exaustiva dos novos fenômenos e linhas de pesquisa que têm merecido muita atenção nos últimos anos inclui: estudo da espectroscopia de átomos e moléculas; aprimoramento e manipulação de um pequeno número de átomos e íons; efeitos de fotodissociação molecular e fotoionização atômica; produção e manipulação de átomos gigantes; múltiplos efeitos de interação da luz com a matéria condensda, em particular o estudo dos fenômenos ultra-rápidos; observação de efeitos de interação fraca em física atômica; produção de estados quânticos do campo eletromagnético; espectroscopia e dinâmica de superfícies; eletrodinâmica quântica de cavidades; estudos básicos de propagação de pulsos eletromagnéticos em sistemas atômicos e em sólidos; produção de íons pesados e estudos de colisões atômicas, entre outros efeitos.

Por outro lado, o surgimento dos grandes computadores tem estimulado bastante os trabalhos teóricos sobre estruturas eletrônicas de átomos e moléculas e para o cálculo de propriedades específicas de átomos e moléculas. Os cálculos teóricos têm sido incentivados não somente pelo seu interesse intrínseco, mas também pelos resultados experimentais obtidos a partir de novas técnicas espectroscópicas com lasers e de fotoelétrons.

Física de plasmas

A física de plasmas investiga movimentos coletivos de partículas carregadas, elétrons ou íons, ou estados de equilíbrio destas partículas, sujeitas à ação de seus próprios campos. Este conjunto de partículas e campos representa um meio fluido chamado plasma. Em particular, são tratadas questões como confinamento de plasma, equilíbrio e sua estabilidade, aquecimento e propriedades de transporte, propagação de ondas, interação de partículas com onda, instabilidades, turbulência e caos.

Os plasmas são encontrados na natureza, como em descargas elétricas (relâmpagos), na ionosfera, no espaço interplanetário e intersideral, na corona solar, nas estrelas, anãs brancas e pulsares. Também são produzidos em laboratórios, como em descargas elétricas, em equipamentos de pesquisa em fusão

nuclear, em lasers a gás, dispositivos semicondutores e metálicos e em equipamentos industriais a plasmas. Nos últimos anos, o domínio do confinamento de plasmas a altas temperaturas avançou muito, tornando possível visualizar, no futuro, a fusão controlada para geração de energia, em processo semelhante ao que ocorre no sol e nas estrelas.

Áreas interdisciplinares

São as que reúnem duas ou mais áreas da ciência ou da tecnologia, em que uma delas é necessariamente a física. A principal dificuldade da pesquisa nessa área é a necessidade de se somarem competências de mais de um setor de atividade científica. Algumas dessas áreas de maior atividade no país estão descritas a seguir.

Ciência dos materiais. A subárea de ciência dos materiais está situada na fronteira entre a física e a tecnologia de materiais. Sua importância reside no desenvolvimento de novos materiais de uso tecnológico, na compreensão básica das propriedades de materiais, e como elemento de formação de pessoal técnico-científico de alto nível, capaz de enfrentar futuros desafios tecnológicos. A variedade de técnicas, tanto experimentais quanto teóricas, modernas ou clássicas de alta sofisticação, usadas nesse campo, contribui para sua grande aproximação com a física da matéria condensada.

Incluem-se nesta subárea o crescimento e preparação de cristais, materiais amorfos, filmes e multicamadas, o estudo de propriedades (térmicas, mecânicas, elétricas, magnéticas e ópticas) desses materiais e de processos de corrosão e oxidação, além da preparação de dispositivos eletrônicos feitos com os diversos materiais.

Biofísica, física médica e engenharia biomédica. Nos últimos anos, tem-se acentuado o interesse de um grande número de físicos no estudo dos processos biológicos. A biofísica abrange um vasto campo de interesses, que compreende problemas complexos e altamente desafiantes, exigindo pessoal com boa formação em física e em biologia. Pode ser qualificada como uma área interdisciplinar onde técnicas clássicas, como raios X, têm sido extensamente utilizadas ao lado de técnicas espectroscópicas mais modernas, como espectroscopia de batimento óptico, espectroscopia Raman, ressonância eletroparamagnética, efeito Mössbauer etc.

Em paralelo a essas atividades de pesquisa básica, tem-se desenvolvido de forma acelerada o uso de técnicas largamente utilizadas por físicos e engenheiros na área médica, dando origem à física médica ou engenharia biomédica. As técnicas mais empregadas são ultra-som, raios X para diagnose médica, radiações

ionizantes para tratamento do câncer, e sinais elétricos das mais diversas origens, tanto em diagnose (por exemplo, em eletrocardiograma) quanto em análise clínica (medidores contínuos de concentração de íons). O uso da eletrônica digital e de métodos computacionais no tratamento de sinais obtidos pelos mais variados tipos de transdutores é, também, uma área de grande progresso. O desenvolvimento de órgãos artificiais e os mais variados tipos de equipamentos auxiliares, como criobisturi, magnetocardiógrafo e tomógrafo de RMN, também se inclui na área de engenharia biomédica.

Geofísica. Muitos métodos teóricos e experimentais da física têm contribuído para a compreensão geofísica das três fases da Terra: o planeta sólido, os oceanos e a atmosfera. As técnicas de análise de rochas são as mesmas utilizadas para investigar cristais em física da matéria condensada. A sismologia moderna é baseada em técnicas ópticas com laser. Técnicas eletromagnéticas são usadas para determinar a presença de minerais e de petróleo sob a crosta terrestre. Na atmosfera, a análise da massa de ar turbulento está sendo feita com técnicas de dinâmica de fluidos e computação em larga escala. Esta área interdisciplinar de investigação une físicos, geólogos, matemáticos e engenheiros, na busca de soluções para problemas complexos e de grande importância para a melhoria da vida na Terra.

Fontes não-convencionais de energia. A importância crescente que os problemas de energia assumiram no desenvolvimento das nações modernas na última década trouxe aos físicos novas e importantes oportunidades e desafios. Estes problemas decorrem basicamente da necessidade de desenvolver novos métodos de produção de energia (solar, eólica, gradiente térmico dos oceanos, mares etc.) e de aumentar a eficiência das máquinas comuns, baseadas no uso dos combustíveis fósseis convencionais (carvão, petróleo e gás). Em geral, os métodos e aparelhos envolvidos funcionam na base das leis da mecânica clássica e são conhecidos há muito tempo, havendo, porém, sérios problemas de engenharia na sua realização prática.

Muitos físicos estão participando do estudo dos problemas de energia, ao lado de engenheiros, economistas, urbanistas e cientistas sociais, com uma contribuição significativa para os progressos no campo.

Ensino básico de física

Como a física é uma disciplina básica do segundo grau e de cursos superiores de ciências exatas, engenharia, medicina, farmácia etc., seu ensino requer um contínuo aperfeiçoamento tanto conceitual quanto metodológico. No Brasil, como nos países desenvolvidos, existe um grande número de profissionais dedi-

cados a atividades relacionadas com a melhoria do ensino básico de física, com destaque para a produção de materiais instrucionais e tecnologias educacionais, adequados aos diversos níveis, e para a avaliação de sua eficiência no aprendizado; o estudo de concepções alternativas em física e sua influência no aprendizado, a experimentação de metodologias alternativas de ensino; a produção de material didático e de divulgação, como textos científico-pedagógicos e vídeos; os trabalhos voltados para a melhoria do professor e do sistema educacional; a investigação teórica e experimental do processo de ensino-aprendizado; a investigação histórica e filosófica da física e da ciência como um todo.

2. A física no Brasil

Breve histórico

A física foi introduzida no Brasil como uma disciplina básica dos cursos de engenharia criados no final do século passado. Entretanto, somente na década de 30, graças à vinda para o Brasil de alguns físicos europeus, foram criados os primeiros grupos de pesquisa de fronteira. Gleb Wataghin implantou a pesquisa em física nuclear e partículas na recém-criada Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras da USP, em São Paulo, enquanto no Instituto Nacional de Tecnologia, no Rio de Janeiro, Bernard Gross deu início à investigação na área de física dos sólidos. Os dois foram responsáveis pela formação de escolas essenciais ao desenvolvimento posterior da física no Brasil.

No decorrer da década de 40 firmou-se a geração que realmente fundamentou a construção da física e contribuiu para o desenvolvimento da ciência no país. Foram implantados na USP os primeiros aceleradores de partículas nos grupos experimentais de física nuclear, enquanto Mário Schenberg ganhava projeção internacional por seus trabalhos teóricos em física nuclear e partículas. No Rio de Janeiro, Gross e seu discípulo Joaquim Costa Ribeiro faziam as primeiras descobertas de vulto em transições de fase em sólidos no Instituto Nacional de Tecnologia. Na área teórica, José Leite Lopes e Jayme Tiomno nucleavam um grupo de partículas muito ativo na Faculdade de Filosofia da Universidade do Brasil. Eles propiciaram a volta para o Rio de César Lattes, que acabara de participar das experiências da descoberta do méson na Inglaterra, e com ele fundaram, em 1949, o Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas, CBPF. O dinamismo e o prestígio desse grupo foram também decisivos para a criação, em 1951, do Conselho Nacional de Pesquisas, o CNPq, que foi fundamental para o desenvolvimento da ciência no país.

Na década de 50, os laboratórios de física nuclear da USP passaram por uma fase de expansão, sob a liderança de Oscar Sala e José Goldemberg, com a instalação de dois aceleradores nucleares, um Betatron e um Van de Graff. Por sua vez, o CBPF rapidamente ganhou prestígio internacional em física teórica nuclear e de partículas. Nesta fase, a USP e o CBPF atraíram visitantes de altíssimo nível, alguns dos quais viriam mais tarde a ganhar o Prêmio Nobel de Física, como Richard Feynman. Devido ao *glamour* dessas áreas, a quase totalidade dos físicos jovens brasileiros na década de 50 foi atraída para elas. Em conseqüência, em 1960, quando o transistor já tinha mais de 10 anos de existência e o laser já tinha sido inventado, não havia mais que meia dúzia de físicos de estado sólidos ativos no país. Só mais tarde a física da matéria condensada ganharia impulso no Brasil.

A expansão da física no país acelerou-se na década de 60, viabilizada, em grande parte, pela criação do Funtec do BNDES. No início da década, por iniciativa de Mário Schenberg e Newton Bernardes, foi criado o primeiro grupo teórico e experimental de sólidos e baixas temperaturas na USP. Também ganhou vulto o grupo de sólidos de Sérgio Mascarenhas na Escola de Engenharia da USP em São Carlos, e surgiram grupos de física nuclear e física de sólidos nas universidades federais do Rio Grande do Sul e de Minas Gerais e na PUC do Rio de Janeiro. Com a criação, em 1965, dos programas regulares de pós-graduação, o número de físicos em atividade no país cresceu rapidamente. A criação da Universidade de Brasília, com a participação de vários físicos, trouxe grande entusiasmo pela perspectiva de modernização das estruturas acadêmicas que ela representava. Mais tarde, o governo militar abortou a experiência da UnB e cassou os direitos políticos de físicos importantes, como Leite Lopes e Tiomno, com efeitos amplamente negativos no desenvolvimento da física. Apesar disso, e em função da reforma universitária de 1968 e da introdução do regime de trabalho em tempo integral, a física continuou a se expandir nas universidades federais em todo o país.

Foi na década de 70 que a física, assim como outros campos da ciência, experimentou seu maior desenvolvimento no Brasil. A criação do FNDCT e sua lúcida gestão por José Pelúcio Ferreira na Finep financiaram a implantação da infra-estrutura de grupos de pesquisa em todo o país. Vários físicos que estavam no exterior retornaram ao Brasil e a eles se juntaram jovens doutores e estudantes dos cursos de pós-graduação apoiados pela Capes e pelo CNPq, no nível federal, e pela Fapesp, no estado de São Paulo. Nessa década, a física da matéria condensada expandiu-se fortemente, estimulada em grande parte por sua inter-relação com a tecnologia avançada. Seu principal impulsionador foi o recém-criado Instituto de Física da Unicamp, mas também em muitas outras instituições do país ela ganhou corpo, como nas universidades federais de Pernambuco, Minas Gerais, Rio de Janeiro e Rio Grande do Sul, assim como no CBPF, PUC-RJ, São Carlos e na própria USP em São Paulo. A infra-estrutura de grupos de pesquisa em física nuclear também ganhou nova dimensão com a instalação do acelerador Pelletron na USP, em 1972, e a conclusão do acelerador Van de Graff, na PUC-RJ. Porém, a descentralização geográfica e a expansão da física da matéria condensada foram os aspectos mais marcantes do desenvolvimento da física nos anos 70.

A década de 80 foi marcada por uma grande diminuição dos recursos federais destinados à ciência e tecnologia, inclusive à física. Pouquíssimos investimentos de vulto foram realizados nesse período, o que resultou num processo gradual de obsolescência da infra-estrutura de pesquisa. As únicas instituições novas criadas foram o Laboratório Nacional de Luz Síncrotron do CNPq, em Campinas em 1986, e o Centro Internacional de Física da Matéria Condensada da Universidade de Brasília, em 1989.

A crise do financiamento federal agravou-se nos anos 1990-92, atingindo níveis sem precedentes. Institutos e departamentos de física que contavam com apoio regular da Finep desde a década de 70 tiveram seus financiamentos interrompidos ou drasticamente reduzidos. O CNPq não teve recursos para pagar auxílios para pesquisa aprovados em 1991 e 1992. Em conseqüência, muitos técnicos pagos com verbas de projetos foram despedidos, e atividades de pesquisa foram interrompidas ou tiveram seu ritmo muito reduzido, provocando o desânimo entre pesquisadores e estudantes e estimulando a evasão de bolsistas doutorados no exterior. A crise na física como um todo só não é mais profunda por conta de sua concentração no estado de São Paulo, onde a Fapesp teve suas verbas incrementadas a partir de 1990 e pode compensar a diminuição dos recursos federais. Isto tem provocado uma migração de estudantes e pesquisadores para São Paulo que tende a se acelerar caso a crise federal não seja suplantada.

Evolução quantitativa

Número de doutores

O número de físicos em atividade no país tem aumentado continuamente nas últimas décadas. De 1970 a 1992, o número de doutores passou de 200 para cerca 1.350, o que representa um aumento por um fator 6,5. Um aspecto significativo é a mudança na taxa de crescimento ocorrida a partir de 1986. No período 1970-86 a taxa se manteve aproximadamente constante em 45 doutores/ano. Desde 1986, porém, ela tem aumentado e se aproxima de 100 doutores/ano atualmente.

Formação pós-graduada

O aumento recente na taxa de crescimento do número de doutores no país é resultado direto dos investimentos feitos na década de 70 para a implantação da infra-estrutura de pesquisa. Isto possibilitou a melhoria e a expansão dos cursos de pós-graduação, com o conseqüente aumento do número de estudantes. Enquanto o número de estudantes de mestrado atingiu uma saturação na década de 80, resultado da limitação do fluxo de estudantes formados na graduação, o número de doutorandos no país tem crescido continuamente, atingindo cerca de

700 em 1992. Este número é sete vezes maior que o de bolsistas em programas de doutorado no exterior, cerca de 90 do CNPq e 20 da Capes.

O fruto do contínuo esforço na formação pós-graduada reflete-se no acentuado aumento do número de teses de mestrado e doutorado no país. O número de doutores formados, que se situava na faixa de 30-50 por ano no período 1978-84, aumentou significativamente a partir de 1985, atingindo 100 doutores em 1991.

Investimentos na infra-estrutura de pesquisa

Não foi possível obter dados históricos detalhados sobre os recursos investidos na pesquisa em física no país. Entretanto, a partir das informações dos grupos de pesquisa contidas no documento *A física no Brasil na próxima década* (Sociedade Brasileira de Física, 1990), pode-se estimar os investimentos globais feitos para a construção da infra-estrutura. As informações dos grupos são restritas a despesas realizadas com aquisição e/ou montagem de equipamentos, bibliotecas, oficinas de apoio etc., não incluindo construção civil nem pessoal. Os recursos globais investidos nas diversas áreas de pesquisa totalizam US$127 milhões, em sua maior parte provenientes do FNDCT, na década de 70, e não levam em conta os dispêndios em custeio ou pessoal.

Quadro atual

No levantamento sobre o número de pesquisadores, áreas de atuação e produção científica em 34 instituições que desenvolvem pesquisa em física no país, o número total de físicos com doutorado é de 1.233. Acrescentando os físicos doutores atuando em empresas (cerca de 30) e nas instituições menores (da ordem de 40), além de cerca de 50 doutores com bolsas do CNPq nas categorias pós-doutorado, recém-doutor e desenvolvimento regional, estimamos que o número total de doutores no país é, atualmente, cerca de 1.350.

Geograficamente, esses doutores estão distribuídos da seguinte forma: 12% no Norte-Nordeste; 72% no Sudeste; 12% no Sul; e 4% no Centro-Oeste.

Como ocorre em outras áreas da ciência, grande parte dos doutores em física está concentrada no Sudeste (72%) e, mais particularmente, no estado de São Paulo (46%).

3. Avaliação da área

O quadro institucional

A pesquisa em física está disseminada em todo o país. A concentração geográfica no Sudeste já foi maior, e é menos acentuada que em outras áreas da ciên-

cia. Comparativamente com outras áreras, o número de instituições com pesquisa em física é elevado. São 34 com quatro ou mais doutores, dos quais 23 têm programas de mestrado e 14 têm programas de doutorado, a grande maioria com avaliação nível A pela Capes.

Quando comparada com a situação em países desenvolvidos, como os EUA, Japão e Alemanha, a distorção mais evidente do nosso quadro institucional é a enorme concentração dos físicos com doutorado em universidades (cerca de 84%). Nos EUA este percentual é próximo de 33%, com 33% em laboratórios de pesquisa com missões específicas, e os outros 33% na indústria. No Brasil os laboratórios de pesquisa com missões específicas (Inpe, Ipen e LNLS) contam com apenas 9% dos físicos com doutorado, comparados com 33% nos EUA e um percentual ainda maior na Alemanha. Há vários outros institutos federais (INT, IEAV/CTA e Inmetro) e estaduais (Itep em Pernambuco, Ceped na Bahia, Cetec em Minas Gerais e IPT em São Paulo, por exemplo) realizando atividades de pesquisa e serviços que empregam físicos. Apesar de contarem, juntos, com milhares de funcionários, eles têm ao todo não mais que duas dezenas de físicos com doutorado.

O quadro nas empresas é ainda pior. Nos EUA elas empregam cerca de 33% dos físicos com doutorado, dos quais apenas um terço realiza atividade de pesquisa em física. Os outros dois terços ou não estão envolvidos com física ou não realizam pesquisa propriamente dita. No Brasil, por outro lado, de acordo com o levantamento de 1986 (Sociedade Brasileira de Física, 1987), o número de doutores em física nas empresas não ultrapassava 30, equivalendo a um percentual da ordem de 2-3% atualmente. Há várias razões para este baixíssimo percentual. A primeira é a pouca atividade de pesquisa na indústria. No caso das empresas multinacionais, não há projetos de pesquisa e desenvolvimento nas filiais brasileiras. Seus laboratórios de P&D estão localizados nos países centrais. Por sua vez, as empresas brasileiras, tanto privadas quanto estatais, importam "pacotes", "caixas-pretas" e matrizes de fabricação e, de uma maneira geral, também não têm atividades de P&D. Há apenas algumas exceções expressivas, como é o caso da Telebrás, que montou laboratórios de P&D com apoio da Unicamp, sendo hoje uma das poucas empresas do mundo que detém a tecnologia de comunicação óptica. Outra razão é de ordem cultural. A carreira de físicos no Brasil é recente, e freqüentemente é associada a atividades acadêmicas ou de ciência desvinculada da realidade mais imediata. É ao engenheiro que se recorre para preencher cargos técnicos ou realizar atividade de absorção/desenvolvimento de tecnologia. No entanto, este não é o quadro nos países industrializados, onde as atividades em certas áreas de tecnologia de ponta na indústria são dominadas por físicos, como é o caso da óptica, dos materiais para eletrônica, da criogenia, e várias outras. Não fosse essa questão cultural, o espaço dos físicos na indústria nacional seria muito maior, mesmo porque a formação experimental do físico no Brasil é mais sólida que a do engenheiro. Finalmente, outra razão para o baixo número de físicos doutores na indústria é que o mercado acadêmico ainda consegue absorver a

grande maioria dos formados. Nos EUA, ainda hoje, a primeira preferência do recém-doutor em física é a carreira universitária, onde ele tem assegurada a possibilidade de fazer pesquisa em sua área. Entretanto, não há lugar para todos. Somente a partir dos anos 60, devido à enorme competição por empregos nas universidades e nos laboratórios do governo, os físicos passaram a ingressar em número significativo na indústria. No Brasil, esta transição ainda não ocorreu. A indústria não procura físicos, pois desconhece sua utilidade, enquanto os físicos não querem ir para a indústria, pois preferem as universidades e institutos de pesquisa.

Outra distorção no quadro institucional brasileiro, na nossa opinião, refere-se ao tamanho dos departamentos/institutos universitários. Nos EUA, a maioria dos departamentos tem cerca de 30 a 50 com posição permanente. No Brasil, quatro institutos de física têm mais de 100 docentes: na UFRJ, UFF, USP-São Paulo e Unicamp, sendo que na USP o número se aproxima de 200. Este grande número de docentes é, em geral, justificado pela necessidade do ensino de disciplinas de física para diversos cursos profissionais. Esta necessidade tem levado os institutos/departamentos a contratarem docentes prematuramente, que adquirem estabilidade de emprego antes de mostrarem sua independência científica ou mesmo titulação pós-graduada adequada. Inevitavelmente, uma fração desses docentes nunca atinge essa independência e não contribui significativamente para a produção científica nem para a formação de pós-graduados, concorrendo em parte para a baixa produtividade de alguns "megainstitutos" do país. A solução encontrada por alguns departamentos do país, como PUC-RJ, UFPe e, mais recentemente, UFMG, para fazer face às necessidades de ensino sem "inchar" o corpo docente, tem sido a utilização de estudantes bolsistas de pós-graduação como auxiliares de ensino, a exemplo do que é feito em vários países desenvolvidos.

Massa crítica e capacidade de reprodução

O número atual de doutores em física no país, 1.350, é pequeno para nossas necessidades de ensino e de pesquisa, qualquer que seja o critério de análise. Tomemos, por exemplo, a comparação com países desenvolvidos, levando em conta o tamanho relativo da economia de cada um. Os EUA têm um PIB anual de US$5,3 trilhões e cerca de 33 mil físicos doutores. O PIB do Japão é cerca de metade do americano, enquanto o da Alemanha é um quarto, tendo eles um número de físicos que guarda com seus PIBs uma proporção semelhante à dos americanos, ou seja, aproximadamente 1.000 físicos para cada US$160 bilhões de PIB. Podemos, então, considerar que este número representa um fator adequado para indicar a inserção correta das atividades dos físicos na economia. Como o PIB do Brasil é de cerca de US$400 bilhões, por este critério o país deveria ter hoje 2.500 físicos, um número 85% maior que o atual. Evidentemente, este critério é bastante conservador, pois nosso PIB atual é muito pequeno para as

necessidades da população do país. Entretanto, ele mostra que, mesmo para nossas atuais condições de desenvolvimento, o número de físicos no Brasil é insuficiente. Isso se reflete nas atividades de pesquisa em várias áreas, que não têm massa crítica em algumas especialidades importantes, e na ausência de físicos em setores importantes da economia.

O número de doutores é insuficiente até mesmo para suprir as necessidades de ensino superior. Seria desejável, no mínimo, que todos os docentes com mestrado, em número maior que 400, fossem doutores. Outra argumentação é baseada no tamanho das instituições. Dentre as 30 instituições de ensino computadas no levantamento, 14 contam com menos de 25 docentes com doutorado. O número adicional de doutores para que estas 14 instituições e outras seis que não constam do levantamento (UFPI, UFMA, UFRPe, UFMS, UFRRJ e UFPEL, por exemplo) tenham 25 doutores cada uma é 340, valor este muito próximo daquele anteriormente mencionado. Este número, somado ao de doutores existentes atualmente, atingiria o total de 1.700. Coincidentemente, este número é o mesmo que foi considerado desejável para as instituições de ensino no documento de avaliação e perspectivas do CNPq de 1982 (Secretaria de Planejamento/CNPq, 1982). Evidentemente, para que a pesquisa em física contribua mais efetivamente para o desenvolvimento do país é essencial haver mais laboratórios não-universitários com missões específicas, além de P&D nas empresas. Como foi assinalado anteriormente, nos países industrializados, 70-75% dos físicos exercem atividades nestes setores. Assim, o número de 2.500 físicos obtidos pelo critério da proporção com o PIB seria a massa crítica mínima desejável para o corrente ano. Contando que o PIB do país possa crescer a uma taxa média anual de no mínimo 2,0% nesta década, obtemos um número aproximado de 3 mil doutores no fim da década. Coincidentemente, este é também o número mínimo de doutores para o final do século proposto pelo documento A&P de 1982 (Secretaria de Planejamento/CNPq, 1982), com base em argumentos diversos.

Para alcançar esta meta no ano 2000 seria necessário adicionar ao sistema cerca de 1.600 doutores em oito anos, correspondendo a uma taxa média de 200 doutores/ano, o que é um número bem maior que nossa capacidade de formação nas condições atuais. No último ano foram formados cerca de 100 doutores em física no país e 25 no exterior, totalizando um número 40% menor que o necessário. Para agravar o quadro, entre os formandos no exterior, uma parcela sem precedentes não está retornando ao país, e um número crescente de doutores está deixando o sistema de pesquisa por aposentadoria precoce. Entretanto, com uma reversão do quadro atual, a meta de 3 mil doutores em torno do ano 2004 é perfeitamente viável. Para isto, seria necessário que grande parte dos novos doutores se incorporasse ao sistema de formação pós-graduada, de modo a assegurar uma taxa constante de acréscimo de doutores.

Física teórica e física experimental

Os doutores experimentais representam 50% do total de físicos do país. Nos países desenvolvidos, a fração de físicos experimentais é muito maior, da ordem de 70-75%, pois a física é fundamentalmente uma ciência experimental e é nesta atividade que existe maior oferta de empregos na indústria e nos laboratórios não-universitários. Nos países subdesenvolvidos, entretanto, as dificuldades para montar laboratórios e realizar pesquisa experimental são muito grandes, o que, em geral, resulta numa ciência teórica, concentrada em universidades e até mais distantes dos problemas concretos da sociedade. Este era também o quadro da física no Brasil na década de 60. Felizmente, como decorrência dos investimentos nos laboratórios de pequeno porte de matéria condensada feitos na década de 70, bons estudantes de doutorado têm sido atraídos para a física experimental, e essa distorção tem diminuído. A fração de 50% de experimentais nos dias de hoje é significativamente maior que no início da década de 70. Outro indicador da redução da distorção é que a proporção de teses experimentais defendidas, tanto no mestrado quanto no doutorado, aumentou continuamente na década de 80, ultrapassando os 50% nos últimos cinco anos. É de fundamental importância que essa tendência se torne ainda mais acentuada de modo a que a proporção de físicos experimentais se aproxime da faixa de 60-70% no ano 2000. São esses físicos que, de uma maneira geral, encontrarão emprego nos laboratórios industriais, em empresas, nos centros de pesquisa com missões específicas e nos institutos estaduais.

Os recursos para a pesquisa e a situação da infra-estrutura

Na avaliação da situação do financiamento da pesquisa em física no país, novamente é necessário recorrer à comparação com países desenvolvidos. Há, nos EUA, cerca de 30 mil físicos doutores, dos quais 10 mil nas universidades e laboratórios nacionais de pesquisa, 10 mil trabalham em física nos laboratórios industriais e 10 mil exercem atividades em outras áreas (consultorias, administração, outros campos da ciência etc.). A pesquisa básica em física nessas instituições é financiada principalmente por quatro agências federais: a National Science Foundation (NSF), a Nasa, o Departamento de Energia (DOE) e o Departamento de Defesa (DOD). Nos últimos anos, essas quatro agências despenderam em média com a física cerca de US$900 milhões/ano (NSF 16%, Nasa 11%, DOD 12% e DOE 39%, esta última principalmente com laboratórios nacionais), o que corresponde a US$90 mil/doutor-ano em média nas universidades e laboratórios nacionais. Essa quantia inclui os salários dos pesquisadores dos laboratórios federais, mas não os dos professores universitários, que são pagos pelas universidades, mantidas pelos estados ou por recursos privados.

Por outro lado, no Japão, a pesquisa nas universidades é quase totalmente financiada pelo Ministério da Educação. Lá existem em todas as áreas cerca de

450 mil cientistas, dos quais 230 mil estão na indústria, 180 mil nas universidades e 40 mil nos laboratórios. O orçamento do Ministério da Educação em 1986 foi de US$9 bilhões, o que corresponde a US$50 mil/cientista-ano. Este número é semelhante ao americano, se levarmos em conta que ele inclui áreas menos dispendiosas que a física.

No Brasil, os recursos federais para pesquisa, por doutor, são bem menores que nos países industrializados, qualquer que seja o critério utilizado para suas estimativas. Os recursos globais investidos para a construção da infra-estrutura de pesquisa em física foram de US$127 milhões, em valores atualizados. Supondo que eles correspondam a 30% dos recursos totais despendidos nessa área, estes seriam de US$423 milhões, incluindo salários. Considerando-se que eles foram gastos, em sua quase totalidade, no período 1970-92, e que o número médio de doutores nesse período foi de 700, tem-se um investimento médio de US$27 mil/doutor-ano. Esse valor é consistente com estimativas anteriores de US$55 mil/doutor em 1981 (Secretaria de Planejamento/CNPq, 1982), ano próximo do pico do financiamento de C&T no país, e US$30 mil/doutor-ano no período 1980-85 (Sociedade Brasileira de Física, 1987), uma vez que a crise dos últimos anos resulta numa diminuição da média do período 1970-92.

Esse baixo nível de financiamento reflete-se diretamente no estado atual da pesquisa em todas as subáreas da física. Nunca foi possível construir um acelerador de partículas competitivo e, conseqüentemente, a pesquisa em partículas elementares no país é quase inteiramente teórica. A pesquisa em física nuclear conta essencialmente com um acelerador no país, o Pelletron da USP, instalado em 1972, que está ultrapassado para os experimentos mais importantes nesta área. No caso de plasmas, o laboratório nacional proposto pela comunidade da área guarda há anos os recursos para sua implantação. Finalmente, em física da matéria condensada, física atômica e molecular e áreas interdisciplinares, cujos laboratórios foram montados em sua maior parte na década de 70, poucos investimentos de vulto foram feitos depois de 1981. Uma conseqüência é a obsolescência generalizada e a falta, nos laboratórios do país, de equipamentos modernos e de maior custo, como aqueles utilizados para fabricação e caracterização de inúmeros materiais artificiais para pesquisa de fronteira e para aplicações tecnológicas nos países desenvolvidos. Outra conseqüência muito preocupante da falta de recursos para investimento é o número crescente de novos doutores formados em física experimental que não conseguem montar laboratórios nos centros mais novos, ou mesmo nas instituições já estabelecidas.

O desempenho na pesquisa

O desempenho dos físicos brasileiros nas atividades de pesquisa no país tem melhorado continuamente desde a década de 60. Em termos puramente quantitativos, foi constatado (Secretaria de Planejamento/CNPq, 1982) que, no período 1974-77, enquanto o número de doutores cresceu de 63%, o número de artigos

publicados em revistas de circulação internacional e com árbitros duplicou. Em 1981, os 700 doutores do país publicaram 556 artigos, perfazendo uma média de 0,8 artigo/doutor (idem). Em 1985, esta média se elevou para 0,9 artigo/doutor (Sociedade Brasileira de Física, 1987). Em 1991, nas 29 instituições que deram informações sobre a produção científica, foram publicados 1.336 artigos por 1.131 doutores, correspondendo a uma média de 1,18 artigo/doutor-ano. Esta média ainda não é satisfatória pelos padrões internacionais, porém é substancialmente maior que no início da década de 70. É preciso considerar também que, comparativamente com físicos de países desenvolvidos, o esforço dos pesquisadores brasileiros com tarefas docentes e administrativas é maior. Outro fator importante a ser levado em conta na análise da produção científica é o estágio de desenvolvimento de muitos grupos de pesquisa do país, que ainda não dispõem de infra-estrutura de laboratórios satisfatória.

Não é apenas na quantidade que a produção científica da física brasileira melhorou no decorrer das últimas décadas. A qualidade dos artigos publicados tem melhorado sensivelmente, o que pode ser constatado pelos seguintes indicadores qualitativos: aumentou a publicação de artigos nas revistas *Physical Review* e *Physical Review Letters*, que têm os mais rígidos critérios para aceitação de trabalhos; vários físicos brasileiros têm mais de 20 citações/ano no *Science Citation Index* nos últimos anos. A melhoria da produção científica brasileira tem resultado em maior intercâmbio em "pé de igualdade" com físicos dos países desenvolvidos, medido pelo aumento de visitas mútuas de trabalho, convites para brasileiros apresentarem trabalhos em congressos internacionais e em capítulos de livros, e participação em comitês organizadores de congressos. Deve ser registrada, também, a contínua participação de físicos brasileiros nas comissões da International Union of Pure and Applied Physics (Iupap), a maior organização mundial na área da física.

O estágio de desenvolvimento e o desempenho qualitativo da pesquisa nas diversas subáreas da física foram recentemente analisados por comissões de especialistas que elaboraram o documento *A física no Brasil na próxima década* (Sociedade Brasileira de Física, 1990). As avaliações que se seguem são baseadas em dados e análises contidos naquele documento, porém são muito mais sucintas e exprimem também nossas opiniões.

Física de partículas elementares e áreas correlatas

Esta subárea tem 50 anos de tradição no Brasil, e deu uma contribuição relevante tanto na solução de problemas teóricos quanto em descobertas experimentais. Nela trabalhava a quase totalidade dos físicos brasileiros na década de 50; porém, nos últimos 30 anos ela perdeu importância relativa. Hoje conta com cerca de 200 físicos com doutorado atuando no país, o que representa aproximadamente 15% dos doutores em física. Como a pesquisa experimental de fronteira nessa área é feita em torno de grandes aceleradores não existentes no país, a ativi-

dade científica aqui é essencialmente teórica. Apenas 15% dos pesquisadores da área são experimentais. Estima-se que todos os recursos investidos em infra-estrutura dos grupos experimentais no país não ultrapassem US$6 milhões.

A pesquisa nesta subárea é bastante difundida no país: há 17 instituições com atividade em física de partículas e áreas correlatas. A pesquisa teórica cobre uma grande diversidade de temas, como teoria dos campos, fenomenologia e modelagem de interações, propriedades de partículas, relatividade e gravitação, física matemática e física geral. A pesquisa experimental, por outro lado, é restrita a apenas quatro instituições (USP, Unicamp, CBPF e UFF), e se utiliza de raios cósmicos ou aceleradores. Como os pequenos aceleradores existentes na USP e no CBPF não possibilitam a realização de pesquisa de fronteira, os grupos brasileiros mais ativos têm desenvolvido fortes colaborações internacionais com grupos que trabalham nos grandes aceleradores de partículas, como o do Cern, em Genebra, o do SLAC, em Stanford, e o do Fermilab, em Chicago. Devido ao enorme grau de informatização dos experimentos com aceleradores e à transmissão de dados por correio eletrônico, os grupos brasileiros têm tido acesso cada vez mais rápido aos resultados obtidos, podendo desenvolver pesquisa de alto nível.

Física nuclear

A pesquisa nesta subárea está fortemente concentrada no eixo Rio-São Paulo. As poucas instituições fora dessa região com atividade em física nuclear têm um número reduzido de doutores. Algumas delas, como a UFRGS e a PUC-RJ, sofreram uma drástica redução da pesquisa na área nos últimos anos, com a "conversão" de físicos mais experientes para outras áreas, como física da matéria condensada, atômica e molecular. Em outras, como a UFPe, o grupo de física nuclear extinguiu-se, com a transferência para outros centros de alguns pesquisadores e a aposentadoria dos demais. No momento, há cerca de 130 físicos com doutorado na área da física nuclear, o que representa cerca de 10% do total, metade dos quais teóricos e a outra metade, experimentais.

A pesquisa básica experimental em física nuclear se concentra em torno dos aceleradores instalados na USP, notadamente o Pelletron, embora também exista atividade no Cyclotron do Instituto de Energia Nuclear, no campus da UFRJ, e do reator do Ipen. A exemplo do que ocorre com a pesquisa em partículas elementares, nos últimos anos um número crescente de pesquisadores vem utilizando instalações experimentais no exterior. Estima-se que o total investido na infra-estrutura dos grupos experimentais tenha atingido US$25 milhões.

A pesquisa experimental junto às máquinas da USP é dirigida para duas grandes linhas: o estudo de propriedades e fenômenos nucleares através de processos eletromagnéticos ou de processos induzidos pelas interações fortes. Apesar das dificuldades de recursos para cobrir as despesas de operação e manutenção dessas máquinas maiores, as instalações da USP são utilizadas por um

número significativo de pesquisadores de outras instituições, não só do Brasil como de países vizinhos, como Chile e Argentina. Menos dependente de recursos financeiros, a pesquisa teórica em física nuclear cobre um elenco mais diversificado de temas, distribuída por outras instituições do país. Existem, no Brasil, 14 instituições com pesquisa em física nuclear. Na maioria delas, entretanto, os grupos têm menos de cinco doutores, quase todos teóricos.

Física da matéria condensada

A física da matéria condensada recebeu um grande impulso no país a partir da década de 70 com o decisivo apoio dos órgãos de fomento, notadamente a Finep, em função de suas possíveis conseqüências para o desenvolvimento tecnológico. Seu progresso continuou na década de 80, apesar da crise no financiamento da pesquisa nesse período e da perda prematura de seus líderes mais experientes. No total, há cerca de 730 doutores nessa subárea, representando 53% do total, dos quais cerca de 70% são experimentais e 30% são teóricos. Esta é a especialidade da física com a melhor distribuição entre atividades teóricas e experimentais no país, e também a única presente na maioria das instituições; em muitas delas, há grupos consolidados que atingiram qualidade internacional.

A pesquisa no país nessa subárea abrange várias classes de materiais e de técnicas de investigação. No momento, há cerca de 21% dos doutores envolvidos com materiais semicondutores, que são os mais importantes do ponto de vista de aplicações. Este percentual relativamente alto resulta do esforço deliberado feito na década de 80 para intensificar a pesquisa desses materiais no país. Outra especialidade bastante desenvolvida é a física estatística e teoria de sólidos, na qual atuam cerca de 23% dos doutores desta subárea, que têm recentemente utilizado técnicas modernas de simulação de materiais por computador. A distribuição percentual aproximada dos outros doutores por classe de materiais ou técnicas é a seguinte: magnetismo e materiais magnéticos (11%); supercondutividade (6%); óptica e materiais optoeletrônicos (9%); cristais líquidos e polímeros (3%); vidros, cerâmicas e cristais (5%); cristalografia e estrutura de sólidos (7%); ressonância magnética (8%); Mössbauer e outras técnicas de caracterização (8%).

Devido à característica de pequeno porte de laboratórios para investigar propriedades de materiais, os grupos experimentais conseguiram montar laboratórios em quase todas as instituições. Estima-se que o total investido nestes laboratórios e na infra-estrutrura de apoio atinja US$66 milhões. Tendo em vista a enorme variedade de propriedades que podem ser estudadas, não existe propriamente uma superposição de atividades dos vários grupos. Pelo contrário, há uma complementaridade de técnicas de investigação, que tem estimulado bastante os trabalhos em cooperação, resultando num grande amadurecimento da área e possibilitando a publicação de artigos científicos nos melhores periódicos internacionais em linhas de fronteira como: super-redes de semicondutores; efeito Hall quântico; hélio superfluido; sistemas magnéticos desordenados;

fenômenos críticos e transições de fase; turbulência e caos; supercondutividade em altas temperaturas etc. Finalmente, é importante registrar que a proximidade dos problemas de tecnologia avançada tem levado muitos físicos da matéria condensada a interagirem com empresas, colaborando em questões de absorção de tecnologia, P&D e, até mesmo, criando empresa própria ou propiciando a instalação de laboratórios industriais. Os exemplos mais notáveis são a criação do Centro de Pesquisa e Desenvolvimento da Telebrás e de inúmeras empresas de alta tecnologia em torno da Unicamp e das universidades estadual e federal em São Carlos.

Física atômica, molecular e óptica

A pesquisa nesta subárea é relativamente recente no país, mas está crescendo rapidamente e, hoje, envolve físicos e químicos em cerca de 11 instituições. Estima-se que cerca de 100 doutores em física trabalhem na área, o que corresponde a 8% do total. Na área teórica, a ênfase é no cálculo da estrutura eletrônica de átomos e moléculas, utilizando computadores e métodos de cálculos cada vez mais sofisticados. No lado experimental, alguns grupos, originalmente de outros campos, migraram para essa subárea. É o caso do grupo de física nuclear da PUC-RJ que, ao constatar que seu acelerador Van de Graaff tornou-se obsoleto para a investigação de núcleos, deslocou-se gradualmente para atividade de física atômica. Outros exemplos são os grupos de óptica da UFPe e da USP-São Carlos, nos quais vários pesquisadores estão utilizando lasers para investigação de propriedades de átomos e moléculas. Essas "conversões" foram possíveis porque as técnicas experimentais utilizadas para estudar átomos e moléculas são essencialmente as mesmas usadas na investigação de outros aspectos da matéria. É possível que, no lado experimental, outros grupos de física nuclear ou de matéria condensada passem, no futuro, a se envolver com os novos problemas da física atômica e molecular.

Física de plasmas

Iniciada na década de 70, esta é também uma área da atividade recente no país. Mais do que qualquer outra subárea, ela está fortemente concentrada no eixo Rio-São Paulo, em torno de poucas instituições. Nela atuam cerca de 50 doutores, correspondendo a 4% do total, que se dividem igualmente entre teóricos e experimentais. No lado teórico, há competência internacional em certas linhas, como interação eletromagnética com plasmas, estabilidade magneto-hidrodinâmica e física de confinamento magnético. A pesquisa experimental de maior vulto é feita em torno de máquinas de médio porte construída no Inpe, USP e Unicamp. Estima-se que tenha sido de US$7 milhões o total investido na infra-estrutura experimental dessa área em todas as instituições.

Motivado pelo potencial de geração de energia por fusão termonuclear controlada, o Ministério das Minas e Energia criou em 1982, através da Cnen, o Programa de Física de Plasma, que impulsionou as atividades nessa área em várias instituições. A articulação da comunidade da área em torno deste programa levou o Ministério de Ciência e Tecnologia (MCT) a elaborar, em 1987, o Programa Nacional de Plasmas e Fusão Termonuclear Controlada, prevendo, inclusive, a criação de um laboratório nacional de plasmas. Devido a dificuldades financeiras e até políticas (relativas à definição do local do laboratório), até hoje este plano não saiu do papel.

Áreas interdisciplinares

Há no país atualmente cerca de 70 físicos doutores trabalhando em diversas áreas interdisciplinares, representando, aproximadamente, 5% do total de doutores. Embora seja um número ainda pequeno, representa um aumento significativo se comparado com o início da década de 80. Este número reduzido de pesquisadores não decorre da falta de interesse ou da pequena importância dessas áreas. Ao contrário, os problemas de pesquisa básica nessas áreas são, em geral, muito interessantes e desafiadores, e elas costumam ter grande potencial de aplicação. A maior dificuldade para a formação e manutenção de grupos de trabalho nessas áreas reside na necessidade de se contar com especialistas de diferentes subáreas interessados em problemas comuns e com apoio financeiro para montar laboratórios com técnicas variadas.

As áreas interdisciplinares com maior atividade no país atualmente são: física biológica, físico-química, física médica e instrumentação. Em algumas dessas áreas estão sendo feitos trabalhos de fronteira que são publicados nas melhores revistas internacionais. Em outras, as atividades são predominantemente de absorção e domínio de tecnologias para aplicação rotineira a situações do país. As atividades na área de instrumentação com freqüência têm resultado em produtos comercializáveis que são repassados para indústrias existentes ou que propiciam até a criação de novas empresas. Duas áreas importantes nas quais há pouco envolvimento de físicos são ciência de materiais e fontes renováveis de energia, que apresentam enorme deficiência de recursos humanos no país, apesar de sua importância estratégica para nosso desenvolvimento.

O maior empreendimento no país com característica interdisciplinar é a fonte de luz síncrotron que está sendo construída no Laboratório Nacional de Luz Síncrotron (LNLS), em Campinas. A máquina consiste em um acelerador de elétrons e um anel de armazenamento no qual os elétrons circulam em alta velocidade e produzem radiação eletromagnética de grande intensidade, cobrindo extensa faixa de energia. Essa radiação pode ser utilizada com inúmeras finalidades, desde a pesquisa básica em sólidos, átomos, moléculas e materiais biológicos e aplicações variadas, como fotolitografia para fabricação de circuitos eletrônicos de alta integração. A fonte de luz do LNLS está sendo

construída por uma equipe de físicos, engenheiros e técnicos bem-coordenados, utilizando inúmeros componentes desenvolvidos em parceria com a indústria nacional. Já foram investidos cerca de US$11 milhões no projeto, que representa a primeira experiência brasileira na construção e, posteriormente, na operação de um laboratório de física de porte, com caráter nacional, para ser utilizado por grande número de usuários.

Ensino básico de física

Esta não é, propriamente, uma subárea de pesquisa como as anteriores, pois não produz novos conhecimentos de fronteira na física. No entanto, como no Brasil ela envolve cerca de 60 doutores em física (5% do total), merece ser analisada individualmente.

O ensino básico de física, tanto no segundo grau quanto no início do curso universitário, é da maior importância para a formação geral do cidadão e a de profissionais em diversas áreas da ciência e tecnologia. Nos países desenvolvidos, as escolas secundárias dispõem de laboratórios de ensino equipados com materiais encontrados comercialmente e professores bem-formados e bem-remunerados. No ciclo básico dos cursos universitários, o ensino é comandado por professores experientes que, na sua totalidade, exercem, ou já exerceram, atividades de pesquisa em alguma área de fronteira. Muitos deles, após anos de experiência, tornam-se especialistas no ensino básico universitário e contribuem também para a melhoria do professorado e do material didático dos cursos secundários.

No Brasil, a degradação do ensino secundário e a expansão das universidades ocorridas principalmente na década de 70 tornaram agudos os problemas de ensino, fazendo com que vários físicos se preocupassem com ele. Na falta de maior número de físicos experientes dedicados às questões do ensino, foram criados, nas últimas duas décadas, vários programas de mestrado e dois de doutorado para a formação de especialistas em ensino. Aos doutores formados nesses programas somam-se aqueles que atuavam em outras áreas e hoje dedicam-se somente às questões do ensino. Esta comunidade tende a supervalorizar as atividades de ensino e seu caráter de pesquisa original. A isto se contrapõe a crítica exacerbada feita a essa subárea por parte de vários pesquisadores das áreas de fronteira. Nossa posição é intermediária, reconhecendo a importância de a universidade atuar para melhorar o ensino básico de ciências, tendo, porém, o cuidado de limitar a expansão dos grupos de especialistas exclusivos do ensino. Projetos de melhoria de material didático, livros e *kits* de laboratório devem ser produzidos — e têm sido assim — com a participação de pesquisadore das áreas de fronteira. Esta participação deve ser encorajada ainda mais.

O número de programas de pós-graduação em ensino nas instituições de física, sete de mestrado e um de doutorado (USP), é mais que adequado, principalmente no nível de doutorado. Sua expansão exagerada deve ser evitada para

não acarretar a formação de um número demasiado grande de especialistas em ensino, que nunca participaram da atividade de geração de conhecimento novo em física. Por outro lado, não há qualquer objeção à expansão dos programas de pós-graduação junto aos departamentos/faculdades de educacão com a participação direta dos físicos, visando principalmente formar e aperfeiçoar professores secundários.

Atividades em outras áreas

Embora a divisão de áreas da física adotada neste documento tenha sido considerada a mais adequada para descrever a situação da física no Brasil, estando de acordo com a divisão estabelecida pela Sociedade Brasileira de Física (1990), ela não é detalhada o suficiente para explicitar certos campos de pesquisa, que, a rigor, não se enquadram nas subáreas específicas anteriormente mencionadas. Este é o caso de subáreas teóricas como física matemática, cosmologia, relatividade e gravitação, nas quais trabalham pesquisadores no Brasil. Há também certos campos importantes com pouquíssima atividade no Brasil, como dinâmica de fluidos, cujos fenômenos não-lineares estão sendo muito estudados atualmente. Contudo, há uma singularidade que não deve deixar de ser mencionada, qual seja a de áreas chamadas clássicas, como eletromagnetismo e óptica. Alguns físicos teóricos no Brasil deram grandes contribuições a essas áreas, como Gleb Wataghin, nas décadas de 30 e 40, Guido Beck, nos anos 50 e 60, e, posteriormente, H. Moysés Nussenzveig. Nussenzveig é um dos físicos brasileiros mais citados atualmente e um dos poucos que receberam prêmios internacionais importantes em toda a nossa história.

4. Recomendações para o desenvolvimento da área

As proposições e recomendações que se seguem incorporam antigas recomendações de comissões de físicos expressas nos documentos *Avaliação e perspectivas*, do CNPq (1978 e 1982), adaptadas ao momento atual, além de proposições de alocação de recursos por áreas apresentadas no documento *A física no Brasil na próxima década* (Sociedade Brasileira de Física, 1990). Entretanto, todas elas têm o viés da nossa opinião e assumimos inteira responsabilidade por sua redação final.

As recomendações são apresentadas em quatro grupos distintos. O primeiro refere-se a questões gerais do financiamento da pesquisa. O segundo apresenta recomendações específicas para o financiamento de subáreas da física. O terceiro contém proposições relativas à formação de recursos humanos. Finalmente, o último contém recomendações específicas sobre diversos assuntos. Todas as recomendações são precedidas por um pequeno preâmbulo explicativo de sua motivação.

Laboratórios associados

No documento de A&P do CNPq de 1978, época em que a Finep atuava de forma satisfatória com financiamentos bienais, já se chamava a atenção para a necessidade de garantir às instituições recursos por prazo de cinco anos, criando condições para o planejamento adequado de projetos de pesquisa. Desde então a comunidade científica tem reivindicado a criação de entidades de pesquisa associadas ao CNPq, como forma de garantir a estabilidade do financiamento a longo prazo. Com a crise aguda dos últimos anos, esta proposta ganha importância.

• Recomendação 1: entidades/laboratórios associados

A criação de entidades/laboratórios associados ao MCT/CNPq, com uma rubrica específica no Orçamento da União, é uma medida inadiável. Esta parece ser a forma mais adequada de garantir aos grupos/instituições de reconhecida competência em pesquisa a estabilidade financeira a médio prazo. O orçamento das entidades selecionadas deve incluir primordialmente o custeio de sua operação, deixando no máximo 20% para investimentos. As solicitações de investimento devem ser submetidas pelos grupos de pesquisa aos órgãos/programas de fomento para projetos específicos de pesquisa/desenvolvimento.

Volume de recursos para a pesquisa em física

De acordo com a análise apresentada neste artigo, mesmo sem levar em conta a crise aguda dos últimos três anos, o dispêndio médio por doutor em física caiu continuamente durante a década de 80. Em conseqüência, a maior parte da infra-estrutura de pesquisa instalada nos anos 70 está se tornando obsoleta, ameaçando comprometer seriamente o futuro da pesquisa experimental no país. Além disso, muitos jovens doutores sequer conseguem iniciar pesquisa experimental, principalmente nas instituições mais novas. É essencial que os órgãos federais de fomento, em especial CNPq e Finep, aportem recursos específicos para a física em volume satisfatório.

• Recomendação 2: recursos para a física

Considerando um valor médio por doutor de US$40 mil/ano, que ainda é baixo pelos padrões dos países desenvolvidos, recomenda-se que seja alocado à física nos próximos anos, pelo CNPq e pela Finep, o mínimo de US$54 milhões por ano.

Forma de distribuição de recursos para a pesquisa

Quando dispunha de recursos adequados, a forma de distribuição adotada pelo CNPq no apoio a projetos individuais ou de pequenas equipes, submetidos de acordo com certo calendário, era considerada perfeitamente satisfatória. Por outro lado, no caso da Finep, a concessão de vultosos financiamentos institucionais, eficaz na década de 70, quando a infra-estrutura básica estava em construção, tornou-se inadequada nos últimos anos. Os projetos institucionais são, em geral, constituídos de um somatório de subprojetos, cujos resultados são difíceis de avaliar. Além disso, o fato de as instituições apresentarem seus pleitos em diferentes épocas torna impossível a análise comparativa. A "desarrumação" provocada pela crise dos últimos anos deve ser aproveitada para mudar a sistemática de financiamento da Finep.

• Recomendação 3: operação do FNDCT/Finep

A Finep deve estabelecer um calendário para aceitação, julgamento e aprovação de pedidos por área do conhecimento, financiando projetos através de programas. Alguns programas, na área da física, sugeridos tanto para a Finep quanto para o CNPq, são:

• Programa de infra-estrutura básica para pesquisa;

• Programa de física nuclear e partículas;

• Programa de física atômica, molecular, óptica e matéria condensada;

• Programa de plasmas;

• Programa de áreas interdisciplinares e aplicações;

• Programa de ensino básico e divulgação da física.

Proposição de programas para a área da física

Programa de infra-estrutura básica para pesquisa

As bibliotecas, os computadores e as oficinas básicas constituem parte essencial da infra-estrutura de todas as instituições que desenvolvem pesquisa. Nos últimos anos, todas as instituições, com exceção taslvez de algumas do estado de São Paulo, interromperam assinaturas de revistas e não conseguiram adquirir livros novos necessários. Várias tentativas de assegurar recursos contínuos do MEC para bibliotecas das universidades federais têm falhado. É essen-

cial que as agências do MCT estabeleçam um programa de longo prazo destinado a manter atualizados os acervos das bibliotecas. Considerando o porte das instituições, seguindo a sistemática do CA de física do CNPq, seria interessante agrupar as bibliotecas em três categorias: grandes, médias e pequenas.Com base no número de doutores nas diferentes instituições, propõe-se que o programa contemple: 11 bibliotecas grandes com US$100 mil/ano; 11 médias com US$60 mil/ano; 12 pequenas com US$30 mil/ano.

O número acima corresponde a US$2,120 milhões por ano para bibliotecas, ou US$10,600 milhões por um período de cinco anos.

No caso de computadores, que se tornaram ferramentas indispensáveis para simulação e computação científica em todas as subáreas da física, há o exemplo da iniciativa bem-sucedida do CNPq em 1991, adquirindo um conjunto de estações de trabalho para equipar os grupos de pesquisa do país. É importante conferir a um programa como este um caráter permanente, de modo a assegurar a atualização dos equipamentos dos grupos que demonstrem maior competência e vocação em computação científica.

Agrupando-se os investimentos em bibliotecas, oficinas e em computação científica, propõe-se que o programa de infra-estrutura contemple, em cinco anos, o montante de US$20 milhões.

Programa de física nuclear e partículas

A construção de aceleradores de partículas para pesquisa de fronteira em altas energias é extremamente complexa e dispendiosa, e não deve ser cogitada no Brasil nos próximos anos. A pesquisa nessa área deverá continuar sendo primordialmente teórica, embora seja importante aumentar a capacitação do país nas atividades experimentais envolvendo aceleradores, através de intensa colaboração internacional com grandes laboratórios, como Cern e Fermilab, visando ao treinamento de técnicos, estudantes e pesquisadores. Paralelamente, é preciso equipar os principais grupos de pesquisa na área com recursos computacionais modernos, distribuídos tanto para cálculos teóricos quanto para aquisição de dados dos laboratórios internacionais. Finalmente, é importante manter o apoio para a operação e a contínua melhoria dos aceleradores de baixa energia já existentes, através de projetos que estimulem a interação com a indústria brasileira.

Na área da física nuclear, é importante apoiar os projetos de expansão das máquinas mais importantes, os aceleradores Pelletron e Microtron da USP, para os quais estão previstos recursos federais, estaduais e de empréstimos do BID. Também nesta área deve haver uma política nacional de apoio a projetos brasileiros envolvendo a utilização de instalações experimentais no exterior.

Os recursos totais previstos para a física nuclear e de partículas, nos próximos cinco anos, são de US$57 milhões. Considerando que a pesquisa experimental nesta área é fortemente concentrada em São Paulo, espera-se que metade deste valor seja coberto pela Fapesp e pela USP.

O valor do orçamento proposto para o programa federal de física nuclear e partículas é US$28,5 milhões para os próximos cinco anos, dividido entre a CNPq e a Finep.

Programa de física atômica, molecular, óptica e matéria condensada

Enquanto as atividades de pesquisa experimental de fronteira em física nuclear e partículas envolvem necessariamente grandes máquinas e são feitas por equipes numerosas de físicos e engenheiros, a maior parte das pesquisas em física atômica, molecular e matéria condensada é feita por equipes pequenas, em laboratórios de pequeno ou médio portes. Esta é uma das razões pelas quais estas áreas, principalmente a de matéria condensada, difundiram-se pelo país. Outra razão é a importância tecnológica de vários temas nelas estudados, como as propriedades de materiais semicondutores, magnéticos, supercondutores, optoeletrônicos, cristais líquidos, cerâmicos etc.

Os grupos de pesquisa nessas áreas, que contam atualmente com cerca de 800 físicos doutores, estão capacitados a embarcar em projetos mais ambiciosos de preparação e investigação de materiais sofisticados. Para isto será necessário implantar laboratórios de médio porte, com equipamentos de custo entre US$100 mil e US$1 milhão, que são comuns nos laboratórios dos países desenvolvidos e raros no Brasil. Isto possibilitará a melhoria do nível da pesquisa básica e a formação de maior número de pesquisadores para universidades, centros de pesquisa e empresas, o que contribuirá de maneira decisiva para o domínio de técnicas e processos de grande importância tecnológica. Os grupos de pesquisa prevêem a necessidade de recursos da ordem de US$225 milhões para os próximos cinco anos, dos quais cerca de 30% provavelmente poderão ser providos pelas fundações estaduais de amparo à pesquisa.

O custo proposto para o programa federal para estas subáreas é US$157,5 milhões nos próximos cinco anos, para execução pelo CNPq, Finep e PADCT (subprograma de novos materiais).

Programa de plasmas

Um trabalho contínuo e competente tem sido desenvolvido, no Brasil, em física de plasmas, com ênfase na área de confinamento magnético de plasma para fusão. Os programas de pesquisa nesta área foram objeto de amplos debates, nos últimos 12 anos, na comunidade científica brasileira e internacional. Áreas correlatas, com aplicações tecnológicas de plasmas, sistemas de aquisição e análise de dados experimentais e controle, também vêm sendo desenvolvidas. Além dos projetos atuais em desenvolvimento, há, na área de fusão termonuclear controlada, dois projetos de novos tokamaks: o TBR-2, na USP, e o Proto-ETA, no Inpe.

Após projetar, construir e operar com sucesso o pequeno tokamak TBR-1, o grupo da USP está desenvolvendo o projeto de um novo tokamak, em colaboração com o Instituto de Física de Plasmas da Academia Chinesa de Ciências, o que permite ao grupo continuar participando das pesquisas internacionais (em colaboração com outros grupos nacionais e internacionais) e formar pessoal qualificado. A máquina escolhida, de porte médio, é versátil o suficiente para permitir um trabalho de pesquisa competitivo na época em que entrar em funcionamento. Além de ter interesse científico, este projeto capacitará os grupos de pesquisa na construção de sistemas de porte médio, com a participação de empresas nacionais de engenharia.

No Laboratório Associado de Plasma do Inpe está sendo desenvolvido, em colaboração com o Laboratório Nacional de Oak Ridge, o projeto do Proto-ETA, um tokomak de características diferentes do TBR-2. O objetivo principal é o de caracterizar o desempenho desse tipo de máquina e as propriedades do plasma ao atingir o equilíbrio, com correntes de plasma e temperatura relevantes.

Para custear a construção dessas duas máquinas e apoiar os outros grupos de plasma, serão necessários recursos da ordem de US$25 milhões nos próximos cinco anos. É razoável esperar que a Fapesp, a USP e o Inpe assumam 40% deste montante.

O programa federal de plasmas prevê, para os próximos cinco anos, a quantia de US$15 milhões.

Programa de áreas interdisciplinares e aplicações

A pesquisa experimental em áreas interdisciplinares como física biológica, física médica, ciência dos materiais e instrumentação, entre outras, é feita, em grande parte, em laboratórios pequenos ou de porte médio, semelhantes aos de matéria condensada. Entretanto, em alguns temas, há necessidade de se recorrer a equipamentos de maior porte.

No momento, há dois projetos em desenvolvimento no país, que envolvem equipamentos maiores que custam alguns milhões de dólares. São eles a fonte de luz síncrotron do LNLS, em Campinas, e a máquina de implantação iônica, do IF/UFRGS. O primeiro é um projeto de vulto, que está sendo desenvolvido de forma competente, que terá utilidade para pesquisa em diversas áreas, como física atômica, molecular e matéria condensada, física biológica, química etc. O investimento previsto para este projeto é de US$28 milhões para os próximos cinco anos. O segundo consiste na expansão do implantador iônico já existente no IF/UFRGS, cuja finalidade é preparar e estudar materiais diversos. O custo desta expansão é estimado em US$4 milhões. Além desses investimentos maiores, estas áreas necessitam de recursos para aquisição e operação de equipamentos menores. Sua estimativa é de US$10 milhões para cinco anos. O investimento total do qüinqüênio nessas áreas deverá ser, então, de US$64 milhões, dos quais US$27 milhões de fontes não-federais.

O programa federal de fomento às áreas interdisciplinares deve prever então, no mínimo, US$37 milhões para os próximos cinco anos.

Programa de ensino básico e divulgação da física

A melhoria do ensino de física, ou, mais genericamente, da educação científica nas escolas de primeiro e segundo graus, é essencial para o desenvolvimento futuro desta e de outras áreas da ciência, bem como da engenharia. Uma das maiores falhas do ensino atual é sua natureza excessivamente teórica, que decorre da falta de laboratórios nas escolas e do despreparo do professor secundário para ministrar aulas práticas. É de extrema importância que pesquisadores e docentes universitários sejam envolvidos em programas de treinamento de professores e de produção de material educacional para escolas e material para divulgação da física, de forma mais ampla na sociedade. O subprograma de educação científica (Spec) do PADCT apóia projetos nestas linhas, porém os recursos financeiros não são suficientes para produzir o impacto necessário.

É importante alocar recursos adicionais aos do PADCT-Spec para projetos de melhoria do ensino básico e divulgação da física. O valor proposto para os próximos cinco anos é US$10 milhões.

• Recomendação 4: recursos para os programas de física

Além de manter o apoio básico às instituições e conceder auxílios individuais para pesquisa, viagens e organização de reuniões, o MCT deve formular um plano qüinqüenal para financiamento da física pelo CNPq e pela Finep, através de programas. Dados exaustivos para detalhamento dos programas encontram-se nos três volumes do documento *A física no Brasil na próxima década* (Sociedade Brasileira de Física, 1990). Sugere-se que o orçamento total dos programas para um período de cinco anos seja de US$268 milhões, ou US$53,6 milhões/ano em média, o que é compatível com a recomendação 2, distribuídos da seguinte forma:

Programas	Orçamento (US$ milhões)	%
Infra-estrutura básica	20,6	7,5
Física nuclear e partículas	28,5	10,6
Física atômica, molecular e matéria condensada	157,5	58,8
Plasma	15,0	5,6
Áreas interdisciplinares	37,0	13,8
Ensino básico e divulgação da física	10,0	3,7
Total (cinco anos)	268,0	100,0

Formação no país

O número atual de pesquisadores no país é muito reduzido para nossas pretensões na área do desenvolvimento tecnológico. A formação de mestres e doutores em física no país deve ser acelerada, principalmente nas áreas experimentais e com maiores possibilidades de aplicações. Propõe-se, como meta para a física, atingir o número de 3 mil doutores em torno do ano 2004. Para que esta meta seja alcançada, torna-se imprescindível que a taxa de formação de doutores no país aumente substancialmente, passando do valor atual de 100/ano para 150/ano, num período de cinco anos. Este aumento está dentro das possibilidades do atual sistema de pós-graduação em física no país, mas não depende apenas de um maior número de bolsas de pós-graduação, pois um dos fatores mais limitantes é o suprimento de estudantes qualificados. É preciso estimular mais a atividade de iniciação científica na graduação, atribuindo-lhe créditos acadêmicos e aumentando o número de bolsas. É importante também melhorar o valor das bolsas de mestrado e doutorado, e das bolsas de incentivo à pesquisa e de recém-doutores.

• Recomendação 5: bolsas de iniciação científica

O número de bolsas de iniciação científica do CNPq na área da física deve aumentar, passando de 650 para 1.300 a médio prazo, de modo a se alcançar uma razão bolsas de iniciação/bolsas de pesquisa de 2/1. Este aumento deve privilegiar as áreas experimentais e com maior potencial de aplicações.

• Recomendação 6: valor das bolsas no país

O valor das bolsas de mestrado e doutorado no país deve ser mantido em nível compatível com a situação profissional e de família dos bolsistas, devendo prover também o seguro de saúde, como as bolsas no exterior. Recomenda-se também ao CNPq e Capes a criação de um adicional para bolsistas com atividades docentes. A exemplo do que faz a UFMG, as próprias universidades deveriam criar bolsas de monitoria de pós-graduação com essa mesma finalidade, como forma de melhorar a remuneração dos estudantes de pós-graduação e aliviar a pressão para a contratação prematura de docentes.

• Recomendação 7: aumento do número de bolsas de pós-graduação

O número de bolsas de pós-graduação em física deve ser aumentado a uma taxa média de 10% ao ano, visando dobrar a população de estudantes de doutorado em sete anos.

• Recomendação 8: doutorado sem o pré-requisito do mestrado

Os bons estudantes devem ser estimulados a ingressar diretamente nos programas de doutorado em física, sem a necessidade de apresentar dissertação de mestrado. Uma forma de incentivo financeiro é o aumento da diferença entre os valores das bolsas de doutorado e de mestrado. Contudo, é necessário também que os próprios orientadores e coordenadores de cursos criem ambiente favorável ao encorajamento dos estudantes.

Doutoramento no exterior

Os programas de doutorado no exterior na área da física têm, atualmente, cerca de 130 estudantes brasileiros com bolsas do CNPq ou da Capes, formando por ano cerca de 25 doutores. Os programas no Brasil têm 700 estudantes e formaram, em 1991, cerca de 100 doutores. Mesmo formando quatro vezes mais doutores, o custo total dos estudantes no país é comparável com o do exterior, pois um estudante aqui custa em média cerca de US$20 mil, enquanto no exterior custa US$100 mil. Outra consideração negativa sobre os programas no exterior refere-se aos projetos de tese nos quais nossos estudantes são envolvidos. A definição do tema é de exclusiva responsabilidade do orientador no exterior, sem qualquer influência dos órgãos financiadores da bolsa ou das instituições para as quais o candidato poderá retornar no Brasil. A essas preocupações soma-se outra, mais recente: o crescente número de bolsistas no exterior que não retornam ao país após a obtenção do doutorado. Esta evasão decorre não apenas da crise que atravessamos, mas também da falta de acompanhamento individual dos bolsistas no exterior e de instrumentos mais eficazes de cobrança do retorno dos investimentos aos que não voltam ao país.

Não obstante esses problemas, os programas de bolsas no exterior são importantes para suprir as deficiências de certas subáreas e para trazer ao país os mais recentes avanços. Eles devem ser mantidos em sua dimensão atual, porém não podem deixar de ser alterados.

• Recomendação 9: doutorado no exterior

O número de bolsas de doutorado no exterior na área da física não deve ser reduzido. Recomenda-se, entretanto, que ele seja dividido entre dois programas, um de balcão e outro de indução. O programa de balcão deve ser extremamente competitivo, concedendo bolsas apenas para projetos em temas de fronteira que não ofereçam oportunidade de doutorado no país e para candidatos com aceitação nas melhores instituições do mundo. O programa de indução deve oferecer bolsas para certas áreas estratégicas, prioritariamente para trabalhos experimentais com técnicas mais avançadas e pouco difundidas no país.

Em ambos os programas, cada bolsista no exterior deve ter um tutor no país que acompanhará seu trabalho, através de contato oficial para delegação do CNPq/Capes, com o estudante e seu orientador. O tutor fará relatórios periódicos para o órgão que concede a bolsa e manterá o bolsista informado sobre as oportunidades de emprego no país. A atividade tutorial deve ser remunerada, ou talvez incluída entre as obrigações dos bolsistas de pesquisa do CNPq.

Para dificultar a evasão, CNPq e Capes devem criar instrumentos legais para a cobrança dos gastos com os bolsistas no caso destes não retornarem ao país.

• Recomendação 10: pós-doutorado e doutorado-*sanduíche*

O CNPq e a Capes devem incentivar ainda mais os programas de pós-doutorado no exterior para os candidatos que obtenham o doutorado no país, bem como os programas de doutorado no país com parte da tese realizada no exterior, o doutorado-*sanduíche.*

Fixação de pesquisadores no país

O programa de bolsas de pesquisa criado pelo CNPq na década de 70 tem-se constituído em importante mecanismo de incentivo à pesquisa, principalmente nas universidades federais. Ao contrário de outros incentivos salariais, a concessão da bolsa de pesquisa está sujeita a uma rigorosa avaliação técnico-científica do candidato, e sua renovação é condicionada à produção intelectual do bolsista. Apesar de suas características positivas, as bolsas de pesquisa freqüentemente sofrem ameaça de extinção ou têm seu valor reduzido a níveis ridiculamente baixos. É da maior importância para a pesquisa no país que este programa de bolsa seja estabilizado, ampliado e aperfeiçoado de modo a estimular a fixação de pesquisadores não apenas nas universidades, mas também nos institutos federais e estaduais de ciência e tecnologia.

• Recomendação 11: bolsas para pesquisadores

Os programas de bolsas de pesquisa de recém-doutor e desenvolvimento científico regional do CNPq devem ser ampliados e aperfeiçoados, de modo a estimular a fixação de pesquisadores não apenas nas universidades, mas também nos institutos federais e estaduais de pesquisa, dentro de um planejamento global preestabelecido. Essas bolsas devem ter contribuição máxima muito acima dos valores atuais, porém devem ser sujeitas a tetos rígidos, como era feito no passado. Desta forma, elas poderão servir de importante instrumento de incentivo à fixação de pesquisadores nos institutos estaduais que, em geral, proporcionam salários menores que as universidades e institutos federais, e não conseguem atrair pesquisadores.

Financiamento dos centros menores ou mais novos

Segundo os dados do CNPq, das verbas distribuídas pelo Comitê de Física para auxílios, a parcela que atinge os grupos dos novos centros é da ordem de 10-15% do total. Como esses grupos não têm verbas da Finep, os recursos de que eles dispõem para pesquisa são desprezíveis em comparação com os dos grupos dos centros maiores. É preciso que a comunidade científica e, principalmente, os órgãos do governo entendam que a consolidação da física no país só ocorrerá quando houver pesquisa de boa qualidade em um número muito maior de centros espalhados por todo país, do que o daqueles que são usualmente financiados pela Finep. E, para isso, é imprescindível destinar uma parcela maior de recursos do CNPq e da Finep para os novos grupos.

• Recomendação 12: apoio aos centros menores/novos

Os órgãos federais devem estabelecer uma política explícita de apoio aos grupos de pesquisa de bom nível nos centros menores ou mais novos, e de nucleação de novos grupos nesses centros, através de programas especiais e recursos adicionais para este fim. A nucleação de novos grupos pode ser feita por meio da concessão de auxílios substanciais e compromisso de apoio continuado, estimulando jovens físicos com capacidade de liderança a se fixarem nos novos centros, e criando projetos de parceria com pesquisadores mais experientes de centros mais desenvolvidos.

Diversificação de currículos e cursos interdisciplinares

Os atuais cursos de engenharia e bacharelado em física no país têm, em geral, uma estrutura rígida tradicional, que não está formando profissionais adequados para a indústria em certas áreas de tecnologia de ponta. Este é o caso das indústrias de óptica e optoeletrônica, de materiais especiais, supercondutores, cristais líquidos, vácuo e criogenia, entre outras. É da maior importância aumentar a ênfase na formação experimental nos cursos de física e engenharia, tanto na graduação quanto na pós-graduação, diversificar os currículos e criar cursos interdisciplinares, visando formar profissionais para estas áreas.

• Recomendação 13: diversificação de currículos e criação de novos cursos

Os cursos de física devem diversificar seus currículos, aumentar a formação experimental em óptica, materiais para eletrônica, vácuo e criogenia e incorporar opções que orientem estudantes para atividades fora da área acadêmica, inclusive com estágios em indústrias e centros de tecnologia. Juntamente com departamen-

tos de engenharia eletrônica e mecânica, deve-se estudar a criação de cursos interdisciplinares visando formar profissionais para novas áreas de trabalho, como engenharia óptica e engenharia de materiais voltados para eletrônica.

Institutos federais ou estaduais de tecnologia

Há no país mais de uma dezena de institutos federais ou estaduais de tecnologia, cujo objetivo primordial é realizar serviços de testes, análises e consultorias técnicas para o setor produtivo. A disseminação de atividades de pesquisa nesses institutos, com a participação de doutores em física, é essencial para a melhoria da qualidade de seus serviços e para capacitá-los a desenvolver ou ajudar a transferir tecnologia de universidades para empresas. Os órgãos federais devem apoiar agressivamente a fixação de pesquisadores nesses institutos, dando-lhes meios para montagem de laboratórios e nucleação de novos grupos.

• Recomendação 14: fixação de doutores nos institutos tecnológicos

O CNPq e a Finep devem estabelecer uma política explícita para fixação, nos institutos tecnológicos, de mestres e doutores em áreas da física com maior interface com a tecnologia, oferecendo-lhes bolsas especiais de pesquisa de maior valor que as normais, e assegurando recursos para a montagem de novos laboratórios e projetos de parceria com universidades. No caso dos institutos estaduais, isto só deve ser feito mediante o compromisso de as administrações estaduais proverem contrapartidas e assegurarem apoio adequado aos novos pesquisadores.

Criação de empresas de base tecnológica

Nos países desenvolvidos, os físicos e pesquisadores de outras áreas têm importante papel na criação de empresas de base tecnológica. Muitos produtos e processos são desenvolvidos a partir de resultados obtidos no meio acadêmico pelos pesquisadores, ou mesmo por estudantes, que os transferem para empresas já existentes ou criadas para produzi-los. Reconhecendo a importância deste mecanismo, os governos dos países desenvolvidos estabeleceram vários meios para facilitar, financiar e estimular a criação de pequenas empresas de alta tecnologia, como empréstimos de risco para desenvolvimento de produtos, parques tecnológicos, incubadeiras de empresas etc. Um dos exemplos mais recentes vem dos EUA, país conhecido pela pequena interferência do Estado no setor privado. Em 1992, a National Science Foundation criou um programa intitulado Small Business Innovation Research, destinado a financiar a fundo perdido projetos de pesquisa de empresas que possam resultar em produtos ou processos de alta tecnologia comercializáveis. No Brasil, há várias iniciativas no sentido de estimular a criação de empresas de base tecnológica, com alguns exemplos de sucesso que

tiveram grande participação de físicos, como é o caso do Parque Tecnológico de São Carlos. Por outro lado, o programa de empréstimo de risco que existia na Finep foi desativado nos últimos anos, em parte por conta dos casos de insucesso.

• Recomendação 15: estímulo à criação de empresas de base tecnológica

O governo federal deve criar, através dos órgãos do MCT, do BNDES e da Fundação Banco do Brasil, mecanismos explícitos de financiamento de incubadeiras de empresas, parques tecnológicos e empréstimos de risco, destinados a incentivar o desenvolvimento de produtos de potencial comercial e a criação de pequenas empresas, a partir dos resultados da pesquisa nas universidades e institutos de pesquisa.

Referências bibliográficas

Physics Survey Committee. *Physics through the 1990s: an overview.* Washington, National Academy Press, 1986. 167p.

Secretaria de Planejamento/CNPq. *Avaliação e perspectivas.* Brasília, 1978. p. 39-126.

———. *Avaliação e perspectivas.* Brasília, 1982. p. 125-205.

Sociedade Brasileira de Física. *A física no Brasil.* São Paulo, 1987. 298p.

———. *A física no Brasil na próxima década.* São Paulo, 1990. 3v.